

INTERAÇÃO

CIÊNCIAS DA NATUREZA
E SUAS TECNOLOGIAS

ERNANI VASSOLER RODRIGUES
JÚLIA OGATA
MAURÍCIO PIETROCOLA
(COORD.)

VOLUME
ÚNICO

FÍSICA
CULTURA
CIENTÍFICA E MUNDO
CONTEMPORÂNEO

MANUAL DO
PROFESSOR

ENSINO MÉDIO – 1º, 2º E 3º ANOS
CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS
TECNOLOGIAS – FÍSICA

 Editora
do Brasil



INTERAÇÃO

MANUAL DO
PROFESSOR

▶ CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

FÍSICA ▶ CULTURA CIENTÍFICA E MUNDO CONTEMPORÂNEO

ERNANI VASSOLER RODRIGUES

- ▶ Doutor em Educação pela Universidade de São Paulo (USP)
- ▶ Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
- ▶ Licenciado em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
- ▶ Professor do Departamento de Física da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
- ▶ Professor Permanente do Programa de Pós-graduação em Ensino de Física (PPGenFís-UFES)
- ▶ Professor Permanente do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF-SBF)
- ▶ Pesquisador de processos de ensino e aprendizagem da Física e das Ciências da Natureza

JÚLIA OGATA

- ▶ Mestre em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP)
- ▶ Licenciada em Física pela Universidade de São Paulo (USP)
- ▶ Professora de Física no Ensino Médio

MAURÍCIO PIETROCOLA (COORD.)

- ▶ Doutor em Epistemologia e História das Ciências Exatas e das Instituições Científicas pela Universidade Paris 7
- ▶ Mestre em Ciências: Ensino de Física pela Universidade de São Paulo (USP)
- ▶ Licenciado em Física pela Universidade de São Paulo (USP)
- ▶ Professor da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP)

1ª edição
São Paulo, 2024



“Em respeito ao meio ambiente, as folhas deste livro foram produzidas com fibras obtidas de árvores de florestas plantadas, com origem certificada”

**VOLUME
ÚNICO**

ENSINO MÉDIO – 1º, 2º E 3º ANOS
CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS
TECNOLOGIAS – FÍSICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Rodrigues, Ernani Vassoler
Física : cultura científica e mundo contemporâneo :
volume único / Ernani Vassoler Rodrigues, Júlia Ogata ;
(coordenação) Maurício Pietrocola. -- 1. ed. -- São Paulo :
Editora do Brasil, 2024. -- (Interação ciências da natureza e
suas tecnologias)

ISBN 978-85-10-10281-0 (aluno)

ISBN 978-85-10-10282-7 (professor)

1. Física (Ensino médio) I. Ogata, Júlia.
II. Pietrocola, Maurício. III. Título. IV. Série.

24-225791

CDD-530.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Física : Ensino médio 530.7

Cibele Maria Dias - Bibliotecária - CRB-8/9427

© Editora do Brasil S.A., 2024
Todos os direitos reservados

Direção-geral: Paulo Serino de Souza

Diretoria editorial: Felipe Ramos Poletti

Gerência editorial de conteúdo didático: Erika Caldin

Gerência editorial de produção e design: Ulisses Pires

Supervisão de design: Catherine Saori Ishihara

Supervisão de arte: Abdonildo José de Lima Santos

Supervisão de revisão: Elaine Cristina da Silva

Supervisão de iconografia: Léo Burgos

Supervisão de digital: Priscila Hernandez

Supervisão de controle e planejamento editorial: Roseli Said

Supervisão de direitos autorais: Luciana Sposito

Supervisão editorial: Thalita Carrara

Consultoria técnico-pedagógica: Ivã Gurgel, Maira Cesário Alvim Lobo

Edição: Adolfo Forti, Andrezza Cacione, Giovanni Laranjo Steffani,
Heloise do Nascimento Calça, Jozismar Rodrigues Alves, Maria Ângela
de Camargo, Paula Aline Durães Almeida, Priscila Araújo da Silva, Rafael
Vieira e Tomas Masatsugui Hirayama

Assistência editorial: Fernando T. Tanouye

Revisão: Bianca Oliveira, Jéssie Panegassi, Vitor da Silva e
Yasmin Fonseca

Pesquisa iconográfica: Renata Martins e Ellen Silvestre

Tratamento de imagens: Robson Mereu, Renata Martins e Ellen Silvestre

Projeto gráfico: Talita Lima, Diego Lima e Rafael Gentile

Capa: Gláucia Koller

Imagem de capa: Nonsak Soonjaroen/Shutterstock.com

Edição de arte: Daniel Souza e Fabio Augusto Ramos

Ilustrações: Acervo editora Adilson Secco, Caio Boracini, Daniel das
Neves, Danillo Souza, Ericson Guilherme, Fabio Nienow, Lucca Navarro,
Oracic Art, Rafael Herrera, Reinaldo Vignati e TDPSstudio

Produção cartográfica: Reinaldo Vignati

Editoração eletrônica: ArtJunior Studio

Licenciamentos de textos: Cinthya Utiyama, Ingrid Granzotto,
Renata Garbellini e Solange Rodrigues

Controle e planejamento editorial: Ana Fernandes, Bianca Gomes,
Juliana Gonçalves, Maria Trofino, Renata Vieira, Terezinha Oliveira e
Valéria Alves

1ª edição, 2024



Avenida das Nações Unidas, 12901
Torre Oeste, 20º andar
São Paulo, SP - CEP: 04578-910
Fone: +55 11 3226-0211
www.editoradobrasil.com.br

APRESENTAÇÃO

Caro estudante,

Esta obra foi pensada e escrita para oferecer a você temas e situações do cotidiano que possam ser analisados e compreendidos à luz dos conhecimentos científicos, em especial os da Física. Vivemos em uma era marcada pela tecnologia, conexão e comunicação. Por meio de dispositivos digitais, muitas vezes acessíveis em telas de celulares, somos expostos a diversos tipos de informação: desde aquelas interessantes e cientificamente acuradas até aquelas que não se confirmam na prática. Por isso, além de um conjunto de temas das Ciências da Natureza focados em conhecimentos e conceitos da Física, nesta obra teremos também a oportunidade de discutir aspectos internos da Ciência, como fatos históricos e artigos científicos, com possibilidade de construção e verificação experimental, contudo abordaremos também os aspectos que impactaram a humanidade fora da Ciência, mas que, de alguma forma, foram influenciados por ela.

Neste livro, discutiremos temas da Física com o cuidado de partir de suas implicações e aplicações, evitando, assim, que você repita os já conhecidos *memes* da internet do tipo “mais um dia se passou e eu não usei a fórmula de Bhaskara para nada” ou “não sei para que preciso aprender isso”. Os impactos do desenvolvimento científico e tecnológico da Física estão presentes em praticamente tudo ao nosso redor e moldaram nosso modo de viver. Você consegue imaginar seu dia a dia sem um meio de transporte? Como seria o mundo sem a internet? Ou as transações bancárias sem o uso de computadores e *smartphones*? Já pensou nas consequências da falta completa de energia elétrica em um hospital? A lista de consequências da Física que moldaram nosso cotidiano é extensa, e essas consequências são discutidas ao longo de toda a obra.

Este livro também é resultado de décadas de experiência em sala de aula na área da Física no Ensino Médio, o que permitiu redesenhar e reorganizar as sequências de temas de maneira a facilitar seu aprendizado, não só dos conceitos da Física, mas também dos momentos históricos, contextos, resultados, controvérsias, aplicações tecnológicas, bem como do processo de construção das Ciências como um todo.

Defendemos também que a Ciência é uma construção humana em constante desenvolvimento, e tem um “jogo” muito claro nesse processo: produz-se conhecimento científico sempre que se tornam públicos os achados de pesquisas, deixando claros os métodos e teorias utilizados e sempre construindo um argumento que conecte as alegações dos cientistas a seus resultados. Somente a partir da compreensão de que a Física também é produzida dessa forma que podemos construir um sentido profundo sobre seus conceitos específicos.

Com isso, a Física se mostra como uma forma de estruturar o pensamento a partir da observação atenta da natureza, contemplando seus acontecimentos, produzindo teorias e hipóteses sobre o funcionamento do Universo e buscando meios de testar as hipóteses construídas para entender as relações de causa e efeito ao nosso redor. Conceber a Física dessa forma afasta a visão já superada de que essa ciência seria uma mera aplicação de fórmulas. Mais que isso, ela ajuda na sua construção como cidadão/cidadã pleno(a), capaz de tomar decisões autônomas, livres, bem-informadas e que consideram a análise lógica de fatos e suas consequências.

Esperamos que nosso empenho em agregar essas ideias nesta obra contemple seu desejo pelo conhecimento e desperte em você novas curiosidades e uma vontade de ir além.

Então, mãos à obra!

Os autores

CONHEÇA SEU LIVRO

A obra está organizada em unidades e capítulos. Os conteúdos são apresentados ao longo dos capítulos e de suas seções. Veja e entenda a estrutura de seu livro e o propósito de cada parte dele.



Abertura de unidade

Imagens e texto apresentam a você uma temática atual que tem tudo a ver com os conteúdos abordados na unidade. Apresentada de forma atrativa e contextualizada, é um convite à reflexão a partir de contextos conhecidos e que merecem ser mais bem estudados.

Para começar

É uma preparação para o estudo. Traz questões que instigam a curiosidade e a reflexão a respeito da temática abordada no texto e nas imagens e busca mobilizar os conhecimentos prévios.



Abertura de capítulo

Cada unidade é dividida em quatro capítulos, organizados para construir gradualmente os conceitos relevantes à temática. A abertura sempre traz imagens atrativas e significativas para o desenvolvimento do capítulo.

Para refletir

Questões de leitura inferencial de imagem de abertura e/ou de levantamento de conhecimentos prévios que ajudam a estabelecer relações entre o que você já sabe e o que será estudado.

Objetivos do capítulo

Descreve as expectativas de aprendizagem, ou seja, o que é esperado que você aprenda após o estudo do capítulo.

Ciências da Natureza

Boxe que estabelece a relação entre capítulos dos componentes de Ciências da Natureza e suas Tecnologias que tratam de conceitos relacionados sob diferentes perspectivas, visando fomentar uma compreensão integrada e aprofundada dos temas.

▶ Ciências da Natureza

A radioatividade é estudada com outro enfoque no **Capítulo 15** do **volume de Química**.

Se liga
Pequenos textos que buscam a retomada de conceitos importantes previamente trabalhados ou a diferenciação de conceitos e processos.

Sobre o coeficiente α
Relações entre o coeficiente α e os elementos característicos do material. Aplicações: dilatações, empuxo, fenômenos térmicos específicos e variações de densidade das substâncias.

Tabela - Coeficientes de dilatação linear para várias substâncias

Material	α (1/°C)	α (1/°C)	α (1/°C)	α (1/°C)	α (1/°C)	α (1/°C)	α (1/°C)	α (1/°C)
Alumínio	23,0	18,0	12,0	8,0	6,0	4,0	3,0	2,0
Brasão	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0
Chumbo	27,0	26,0	25,0	24,0	23,0	22,0	21,0	20,0
Couro	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8
Enxofre	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0
Ferro	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0
Latão	19,0	18,0	17,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0
Platina	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0
Prata	19,0	18,0	17,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0
Quartzo	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
Stanho	24,0	23,0	22,0	21,0	20,0	19,0	18,0	17,0
Titânio	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0
Vidro	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0
Zinco	26,0	25,0	24,0	23,0	22,0	21,0	20,0	19,0

Atividades comentadas

1. O coeficiente α varia diretamente com o coeficiente α. Assim, quanto maior for o coeficiente α, maior será a dilatação linear para uma mesma variação de temperatura. Isso significa que materiais com maior α são mais suscetíveis a dilatações térmicas.

2. A dilatação linear é dada por $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$. Assim, para uma mesma dilatação linear ΔL , quanto maior for o coeficiente α, menor será a variação de temperatura ΔT necessária para produzir essa dilatação.

3. A dilatação volumétrica é dada por $\Delta V = V_0 \beta \Delta T$. Assim, para uma mesma dilatação volumétrica ΔV , quanto maior for o coeficiente β, menor será a variação de temperatura ΔT necessária para produzir essa dilatação.

Saiba mais
Alavancas

Uma das atividades dos organismos vivos é a locomoção. Alavancas são barras rígidas que permitem a execução de movimentos em torno de um ponto fixo, conhecido como ponto de apoio ou fulcro.

Classificação das alavancas em função da posição do ponto de apoio, do ponto de aplicação da força motriz e do ponto de aplicação da carga.

Atividades propostas

1. **SAFES** - 2008 Quando se aponta um fuzil com um munição, conforme mostra a figura, qual das forças indicadas representa a força motriz? Qual a força de reação?

2. A figura a seguir mostra três balanças nas quais são colocadas diferentes quantidades de corpos com pesos iguais.

3. O equilíbrio ocorre:

a) somente no balança 1. b) somente no balança 2. c) somente no balança 3. d) em todas as balanças.

Saiba mais
Traz informações complementares e aprofundamentos que ajudam a estabelecer relações entre os conceitos, compreender problemáticas atuais e fazer a articulação com outras áreas do conhecimento.

Atividades comentadas
Traz estratégias de resolução, com foco nos conceitos abordados no capítulo, e serve de apoio às atividades propostas.

Atividades propostas
Seção que acompanha o desenvolvimento teórico de cada capítulo, contendo atividades — especialmente elaboradas para essa coleção ou de exames vestibulares e Enem — de sistematização e aplicação dos conceitos estudados.

Ciência por dentro
Força e movimento com uma torre de blocos

Nesta atividade prática, você e os colegas vão construir uma torre de blocos para estudar os conceitos de força e movimento. Essa atividade é ideal para ser realizada em sala de aula ou em casa.

Material:

- 10 blocos de madeira iguais
- 10 barbantes de 50 cm de comprimento cada
- 10 cartões de papel colorido (vermelho, amarelo, verde e azul)

Procedimento

1. Pegue um barbante e fixe em uma das extremidades de um cartão.
2. Coloque um bloco de madeira no topo do cartão. Certifique-se de que o bloco está bem alinhado com o centro do cartão.
3. Repita o processo com o próximo cartão, sempre colocando um bloco no topo do cartão anterior.
4. Continue até construir uma torre de 10 blocos.
5. Depois de construir a torre, tente inclinar o conjunto para ver se ele permanece em equilíbrio.
6. Tente variar a posição dos blocos para ver como isso afeta o equilíbrio.
7. Tente variar a posição dos cartões para ver como isso afeta o equilíbrio.
8. Tente variar a posição dos barbantes para ver como isso afeta o equilíbrio.

Trocando ideias

1. Para manter a torre de blocos em equilíbrio, há dois fatores importantes: o peso dos blocos e a posição dos cartões.
2. O peso dos blocos atua sempre para baixo, enquanto a força dos cartões atua para cima.
3. A posição dos cartões deve ser ajustada para que a torre permaneça em equilíbrio.
4. A posição dos barbantes também deve ser ajustada para que a torre permaneça em equilíbrio.
5. A posição dos blocos dentro dos cartões também deve ser ajustada para que a torre permaneça em equilíbrio.

Ciência por dentro
Seção que apresenta situações de aprendizagem para você vivenciar diferentes vertentes da natureza da ciência e da construção do conhecimento científico: experimentos e pesquisas. A seção propicia o desenvolvimento de investigação, argumentação, análise de dados e do pensamento científico.

Ciência por fora
Seção destinada a abordar as interfaces entre a ciência, a tecnologia e o mundo social, essenciais para a avaliação dos desafios contemporâneos e tomadas de decisão informadas e responsáveis. Articulada com os conteúdos conceituais, esta seção propicia o trabalho com argumentação, leitura inferencial e com os Temas Contemporâneos Transversais.

Recapitule
Encerrando cada capítulo, este boxe apresenta um breve resumo dos principais conteúdos abordados e propõe uma retomada das respostas dadas para as questões da abertura do capítulo, proporcionando a revisão à luz do conhecimento construído. Também pode incluir questões mais desafiadoras e Rotinas de Pensamento que vão te auxiliar na consolidação da aprendizagem.

Planeje e resolva
Diante de uma situação-problema interdisciplinar, você terá a oportunidade de aplicar e aprofundar seu conhecimento, assumindo um papel ativo na elaboração de soluções. Este processo envolve uma prática reflexiva e engajada, permitindo que você explore as possibilidades e expanda suas habilidades de maneira eficaz.

Resposta

Para manter a torre de blocos em equilíbrio, há dois fatores importantes: o peso dos blocos e a posição dos cartões. O peso dos blocos atua sempre para baixo, enquanto a força dos cartões atua para cima. A posição dos cartões deve ser ajustada para que a torre permaneça em equilíbrio. A posição dos barbantes também deve ser ajustada para que a torre permaneça em equilíbrio. A posição dos blocos dentro dos cartões também deve ser ajustada para que a torre permaneça em equilíbrio.

Tempo de reação

Se você estiver lendo este texto com um relógio ao lado, verá que há um intervalo de tempo entre o momento em que você lê e o momento em que você responde. Esse intervalo de tempo é conhecido como tempo de reação. O tempo de reação pode ser afetado por vários fatores, como a complexidade da tarefa, a atenção e a motivação.

Planeje e resolva

1. Para manter a torre de blocos em equilíbrio, há dois fatores importantes: o peso dos blocos e a posição dos cartões. O peso dos blocos atua sempre para baixo, enquanto a força dos cartões atua para cima. A posição dos cartões deve ser ajustada para que a torre permaneça em equilíbrio. A posição dos barbantes também deve ser ajustada para que a torre permaneça em equilíbrio. A posição dos blocos dentro dos cartões também deve ser ajustada para que a torre permaneça em equilíbrio.

2. O tempo de reação pode ser afetado por vários fatores, como a complexidade da tarefa, a atenção e a motivação. Para melhorar o tempo de reação, é importante praticar a tarefa regularmente e manter a mente alerta.

Ciência por fora
Equilíbrio e arte circense

Circo e história do circo

A palavra "circo" vem do latim "circus", que significa "círculo". O circo é uma forma de entretenimento que combina música, dança, acrobacias e outras habilidades. A história do circo é rica e fascinante, com raízes que remontam a séculos.

A história do circo no Brasil

O circo chegou ao Brasil em 1808, trazido por um grupo de artistas portugueses. Desde então, o circo tornou-se uma parte importante da cultura brasileira. Hoje, existem muitos tipos de circo, incluindo o circo tradicional, o circo moderno e o circo contemporâneo.

Trocando ideias

1. Como o equilíbrio é mantido em uma acrobacia? Qual a importância da concentração e da respiração?
2. Como você se sente ao assistir a uma apresentação de circo? Qual a importância da arte e do entretenimento?
3. Por que o circo é considerado uma forma de arte? Qual a importância da criatividade e da inovação?

Fluxo de ideias

1. O circo é uma forma de arte que combina música, dança, acrobacias e outras habilidades. A história do circo é rica e fascinante, com raízes que remontam a séculos. O circo chegou ao Brasil em 1808, trazido por um grupo de artistas portugueses. Desde então, o circo tornou-se uma parte importante da cultura brasileira. Hoje, existem muitos tipos de circo, incluindo o circo tradicional, o circo moderno e o circo contemporâneo.

#FicaADica
Disposta ao longo dos capítulos, a seção traz sugestões comentadas de livros, filmes e recursos da internet que ampliam seus conhecimentos sobre os assuntos trabalhados.



Material de apoio

Alocada no fim do volume, esta seção apresenta materiais de consulta específicos de cada componente curricular, além do infográfico "Segurança no laboratório".



Enem e vestibulares

Uma seleção de atividades — do Enem e dos principais exames vestibulares de todo o país — para ajudá-lo a revisar, aplicar, aprofundar e até expandir os conceitos estudados na unidade.

Gabarito		
Unidade 1	Página 39	Atividades propostas
Capítulo 1	Página 40	Atividades propostas
Atividades propostas		
1. História		
1.1. Brasil		
1.2. História		
1.3. História		
1.4. História		
1.5. História		
1.6. História		
1.7. História		
1.8. História		
1.9. História		
1.10. História		
1.11. História		
1.12. História		
1.13. História		
1.14. História		
1.15. História		
1.16. História		
1.17. História		
1.18. História		
1.19. História		
1.20. História		
1.21. História		
1.22. História		
1.23. História		
1.24. História		
1.25. História		
1.26. História		
1.27. História		
1.28. História		
1.29. História		
1.30. História		
1.31. História		
1.32. História		
1.33. História		
1.34. História		
1.35. História		
1.36. História		
1.37. História		
1.38. História		
1.39. História		
1.40. História		
1.41. História		
1.42. História		
1.43. História		
1.44. História		
1.45. História		
1.46. História		
1.47. História		
1.48. História		
1.49. História		
1.50. História		
1.51. História		
1.52. História		
1.53. História		
1.54. História		
1.55. História		
1.56. História		
1.57. História		
1.58. História		
1.59. História		
1.60. História		
1.61. História		
1.62. História		
1.63. História		
1.64. História		
1.65. História		
1.66. História		
1.67. História		
1.68. História		
1.69. História		
1.70. História		
1.71. História		
1.72. História		
1.73. História		
1.74. História		
1.75. História		
1.76. História		
1.77. História		
1.78. História		
1.79. História		
1.80. História		
1.81. História		
1.82. História		
1.83. História		
1.84. História		
1.85. História		
1.86. História		
1.87. História		
1.88. História		
1.89. História		
1.90. História		
1.91. História		
1.92. História		
1.93. História		
1.94. História		
1.95. História		
1.96. História		
1.97. História		
1.98. História		
1.99. História		
1.100. História		

Gabarito

Nas páginas finais do volume há respostas das atividades de múltipla escolha e das atividades que requerem cálculo.

Ícones TCT

Estes ícones indicam o trabalho sobre um Tema Contemporâneo Transversal.



Meio ambiente



Cidadania e civismo



Economia



Multiculturalismo

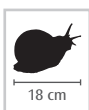


Saúde



Ciência e tecnologia

Ícones



O ícone-medida foi aplicado para indicar o tamanho médio do ser vivo que aparece em imagens. O ícone pode indicar a altura ou o comprimento.



Utilizado quando a atividade deve ser realizada em grupo.



Utilizado quando a atividade deve ser realizada em dupla.



Atividade de resposta oral



Resposta no caderno



Pensamento computacional



Podcast



Vídeo



Infográfico clicável



Mapa clicável



Carrossel de imagens

SUMÁRIO

UNIDADE 1 Força e movimento 12

CAPÍTULO 1

Representação, descrição e previsão de movimentos 14

Relógios e réguas: medindo tempo e espaço 15

Ciência por dentro

A medida do tempo e os eventos cíclicos da natureza 15

Movimento e padrões na natureza 16

Corpo extenso e ponto material 18

Por onde andei 19

Taxa de variação e velocidade 20

Taxa de variação no tempo: a lógica das medições dos movimentos 20

Ciência por fora

Velocidade da internet e justiça social 21

Velocidade média como uma taxa de variação 22

Posição, variação do espaço e distância percorrida 23

Recapitule 25

CAPÍTULO 2

Padrões matemáticos dos movimentos uniforme e uniformemente variado 26

Movimento que se mantém 27

Função horária do movimento uniforme 27

Ciência por fora

Velocidade média e acidentes de trânsito 30

Movimentos que variam 32

Plano inclinado de Galileu e o surgimento da Cinemática como conhecemos 34

Equações do movimento uniformemente variado 35

Movimento vertical livre 37

Ciência por dentro

A aceleração da gravidade terrestre calculada com auxílio de um cronômetro acústico 39

Movimentos em duas dimensões e independência das direções perpendiculares entre si 40

 Vídeo 41

Recapitule 41

CAPÍTULO 3

Ação das forças e dinâmica dos movimentos 42

Noção de força 43

Representando forças 44

Ciência por dentro

Força e movimento com uma torre de blocos 46

Princípios da Dinâmica 47

Inércia 47

Evolução do conceito de inércia 47

Relação entre inércia e aceleração 48

Forças sempre em pares 50

Forças mais comuns 51

Peso 51

Força normal 52

Força de tração 52

Força de atrito 53

Força elástica: um caso de força dependente da posição 54

Recapitule 56

CAPÍTULO 4

Equilíbrio de sólidos e de líquidos 57

Equilíbrio de corpos extensos 58

Centro de massa e tombamento 58

Ciência por dentro

Centro de massa e tombamento de uma pilha de livros 59

Torque 59

Ciência por fora

Equilíbrio e arte circense 61

Líquidos em equilíbrio estático 63

Massa específica 63

Densidade 63

Pressão 64

Pressão hidrostática 66

Empuxo 69

Recapitule 71

Planeje e resolva 71

Enem e vestibulares 72

UNIDADE 2 Energia e princípios da conservação 78

CAPÍTULO 5

Conversão, transferência e conservação de energia 80

Tipos e fontes de energia 81

 Infográfico clicável 81

Trabalho 81

Ciência por fora

Transporte de carga e trabalho realizado por animais 82

Cálculo do trabalho mecânico 83

Trabalho realizado e sua representação gráfica 85

Aparelhos da academia e trabalho mecânico	85
Trabalho e energia mecânica	88
Trabalho e energia cinética	88
Trabalho e energia potencial	89
Princípio de conservação da energia mecânica	89

Ciência por dentro

Analizando a conservação da energia por meio de videoanálise	91
Recapitule	91

CAPÍTULO 6

Momento linear: um outro princípio da conservação 92

Ciência por fora

Acidentes de trânsito	93
Momento linear	94
Impulso	95
Princípio da conservação do momento linear	98

Ciência por dentro

Colisões com videoanálise	102
Tipos de colisão	103
Recapitule	104

CAPÍTULO 7

Trocas e transferência de calor 105

Temperatura	106
Termômetros e a vida na corda bamba	106
Medidas de temperatura	106
A lei zero da Termodinâmica	107

Ciência por dentro

Construindo um termômetro simples	107
Escalas termométricas	108
A escala absoluta de temperatura	109

Dilatação e contração térmicas 110

Ciência por fora

Dimensionamento de juntas em acabamento de pisos e fachadas	110
Dilatação linear	111
Dilatação superficial e volumétrica	113

Troca de energia térmica: a calorimetria 114

Processos de transferência de calor	114
Capacidade térmica e calor específico	114
Trocas de calor em um calorímetro	116
Mudança de estado físico	117
Rios voadores	118

 Mapa clicável	119
---	-----


Recapitule	120
-------------------------	-----

CAPÍTULO 8

Máquinas térmicas e os princípios termodinâmicos 121

Origens históricas da Termodinâmica 122

Ciência por fora

Uma máquina desencadeia uma revolução	122
 Podcast	123

Transformações gasosas 124

A equação de estado dos gases ideais	124
Equação geral das transformações gasosas	125
Transformações notáveis	126
Contribuições ao estudo dos gases	128
Mudanças de fase por mudanças de pressão: os diagramas de fase	129

Ciência por dentro

O balão que empurra	130
---------------------------	-----

Trabalho de um gás 131

Primeira lei da Termodinâmica 133

A equação de estado dos gases ideais	134
--	-----

Segunda lei da Termodinâmica 136

Entropia ou a desordem inevitável do Universo	137
---	-----

Recapitule 140

Planeje e resolva 140

Enem e vestibulares 141

UNIDADE 3 Ondulatória 150

CAPÍTULO 9

Ondas 152

Fundamentos da ondulatória 153

Um universo que vibra	153
Características das ondas	153
Equação fundamental da ondulatória	155

Visão cromática 158

Percepção das cores	158
Espaço RGB de cor	158

Ciência por dentro

Analizando um LED RGB	160
Temperatura de cor	161

Recapitule 162

CAPÍTULO 10


Ondas, música e sistema auditivo 163

O som das coisas 164

A onda sonora	164
Características do som	165

Ciência por fora

Fones de ouvido e riscos à saúde	169
--	-----


Outros fenômenos ondulatórios	171
Ondas estacionárias	174
 Carrossel de imagens	175
Ciência por dentro	
Construindo um instrumento musical de tubos	176
Recapitule	178
CAPÍTULO 11	
Ondas e diagnóstico por imagem	179
Fenômenos ondulatórios bidimensionais ..	180
Reflexão de ondas bidimensionais	180
Ciência por fora	
Ecocalização humana	181
Refração de ondas bidimensionais	181
Diagnóstico por imagem de ultrassonografia	185
A formação da imagem ultrassonográfica	185
Difração de ondas	188
Padrões de Interferência	189
Ciência por dentro	
Difração, interferência e mulheres na ciência!	192
Diagnóstico por imagens e ondas eletromagnéticas	193
Raios X e tomografia	193
Ressonância e exame de ressonância magnética	194
Recapitule	196
CAPÍTULO 12	
Ondas e telecomunicações	197
Espectro eletromagnético	198
Ondas de diferentes frequências, mas de mesma natureza	198
Onda eletromagnética: de uma teoria a um experimento	199
Emissão e recepção de ondas eletromagnéticas: nasce o rádio	200
Ciência por dentro	
Captando e sintonizando ondas eletromagnéticas com um rádio de galena	202
Polarização	204
Telecomunicações de um lado a outro do globo	205
 Infográfico clicável	205
Ciência por fora	
RFID e NFC: telecomunicações à curta distância	205
Recapitule	206

Planeje e resolva	207
Enem e vestibulares	208

UNIDADE 4 Interações eletromagnéticas

CAPÍTULO 13

Geração, transmissão e consumo de eletricidade

De onde vem a eletricidade?	219
Usinas geradoras de energia	221
 Podcast	223
Fontes de energia, matriz elétrica e matriz energética	224
Transmissão de energia elétrica	226

Ciência por dentro

Evolução da transmissão	227
Como ocorre essa transmissão?	227
Consumo de energia elétrica	229

Ciência por dentro

Quanta energia elétrica consumimos?	232
Recapitule	232

CAPÍTULO 14

Circuitos elétricos

Circuitos elétricos	234
Corrente elétrica	234
Corrente alternada e corrente contínua ..	234
Tensão elétrica	234
Resistência elétrica	236
Resistividade	236
Condutores e isolantes	237

Ciência por fora

Supercondutores	238
Primeira lei de Ohm	239

Como medir a tensão, a corrente e a resistência?	239
--	-----

Resistores ôhmicos e não ôhmicos	240
--	-----

Potência elétrica e a primeira lei de Ohm	240
---	-----

Geradores e receptores elétricos	242
--	-----

Símbolos de componentes nos circuitos elétricos	244
---	-----

Tipos de ligação em circuitos

Associação em série	245
---------------------------	-----

Associação em paralelo	245
------------------------------	-----

Associação mista	246
------------------------	-----

Ciência por dentro

Investigando as ligações nos circuitos elétricos	246
--	-----

Recapitule	246
-------------------------	-----

CAPÍTULO 15

Propriedades magnéticas 247

Magnetismo 248

Ímãs e polos magnéticos 248

Ciência por dentro

Investigando propriedades magnéticas ... 249

Campo magnético 250


Processos de imantação 252

Desmagnetização 253

Algumas aplicações do magnetismo 254

Fenômenos naturais que envolvem o magnetismo 254

Aplicações tecnológicas do magnetismo 255

 Carrossel de imagens 256

Recapitule 256

CAPÍTULO 16

Fenômenos eletromagnéticos 257

Eletricidade e magnetismo interligados 258

O experimento de Oersted 258

Campo magnético gerado ao redor de um fio 258

Direção e sentido do campo magnético induzido 258

Lei de Biot-Savart 260

Ciência por dentro

Realização do experimento de Oersted ... 260

Indução eletromagnética 264

Fluxo magnético 265

Lei de Faraday-Lenz 266

O sentido da corrente elétrica induzida ... 266

Aplicações da indução eletromagnética 268

Geração de energia nas usinas 268

Magnetismo pelo olhar microscópico 268

Ondas eletromagnéticas à luz da indução eletromagnética 269

Recapitule 269

Planeje e resolva 269

Enem e vestibulares 270

UNIDADE 5 Evolução e funcionamento do Universo 280

CAPÍTULO 17

Gravitação 282

Movimentos circulares e rotações 283

Cinemática das rotações 283

Gravitação universal 287

Força gravitacional 287

Ciência por fora

Gravidade terrestre e risco associado a lixo espacial 288

Campo gravitacional 289

Ciência por dentro

A primeira medição do raio da Terra 291

Órbitas 292

Leis de Kepler 293

Recapitule 296

CAPÍTULO 18

Formação e evolução das estrelas 297

Formação estelar 298

Fusão nuclear nas estrelas 299

Tempo de vida das estrelas 300

Diagrama de Hertzsprung-Russell 302

Evolução estelar 303

Anãs marrons 303

Anãs brancas 304

Estrela de nêutrons 304

Buracos negros 305

 Vídeo 305

Estrelas e a formação química do Universo ... 307

Ciência por dentro

Cecilia Payne e as computadoradoras de Harvard: As mulheres que desvendaram o segredo das estrelas 308

Recapitule 312

CAPÍTULO 19

Expansão do Universo 313

Modelos cosmológicos 314

Evolução dos modelos cosmológicos 314

Ciência por fora

Mitos da criação e a Cosmologia 316

Modelo Padrão da Cosmologia 318

Teoria do Big Bang e a expansão do Universo 318

 Infográfico clicável 321

Big Bang e a nucleossíntese primordial 323

Big Bang e a radiação cósmica de fundo 323

Expansão acelerada do Universo, a energia escura e a matéria escura 324

Ciência por dentro

A tensão de Hubble, ou a constante que não é uma constante 325

Recapitule 327

CAPÍTULO 20

Aparelhos de observação do céu e óptica geométrica 328

Fundamentos de Óptica Geométrica 329

Característica dos meios de propagação da luz 329

Câmera escura e observação segura de eclipses solares 334

Ciência por fora	
Etnoastronomia	338
Reflexão da luz e telescópios newtonianos	338
Imagem e objeto em sistemas ópticos genéricos	339
Fundamentos da reflexão da luz	341
Espelhos planos	341
Espelhos esféricos	346
Refração da luz	351
Fundamentos da refração da luz	351
Lentes esféricas	352
Ciência por dentro	
Telescópio de Galileu, história e construção	355
Recapitule	360
Planeje e resolva	360
Enem e vestibulares	361
UNIDADE 6 Física Moderna	368
CAPÍTULO 21	
Fenda dupla e o Princípio da Incerteza	370
Natureza da matéria	371
Natureza da luz	373
Concepções de Huygens e de Newton para a luz	374
O experimento da dupla fenda de Young	376
A volta do modelo corpuscular: o efeito fotoelétrico	378
Ciência por dentro	
A produção do conhecimento científico, os cientistas e seus contextos	380
Postulado de de Broglie	380
Princípio da Incerteza de Heisenberg	382
Ciência por fora	
As cores ao longo da ciência	384
 Vídeo	385
Recapitule	385
CAPÍTULO 22	
O efeito fotoelétrico	386
Postes de iluminação: Qual é a relação com a Física Moderna?	387
O que é o efeito fotoelétrico?	388
Problemas para explicar o fenômeno a partir da Física Clássica	388
O efeito fotoelétrico: um fenômeno quântico	390
Função trabalho	390
Equação do efeito fotoelétrico	391
Potencial de corte	392
Aplicações do efeito fotoelétrico	397
Células fotovoltaicas	397
Câmeras digitais	398
Ciência por dentro	
Eletroscópio e o efeito fotoelétrico	399
Recapitule	399
CAPÍTULO 23	
Aplicações tecnológicas da Física Moderna	400
Pesquisa básica e pesquisa aplicada	401
Telas sensíveis ao toque	402
Telas resistivas	403
Telas capacitivas	405
Telas de ondas acústicas	405
Telas infravermelhas	406
Microscópio eletrônico	407
Microscópio de varredura (MEV)	408
Microscópio de transmissão	409
Microscópio de varredura por tunelamento (MEVT)	410
Ciência por fora	
Pesquisadoras da UnB destacam-se em prêmio de fotografia científica	412
Ciência por fora	
Prêmio Nobel em Física de 1986	414
Ciência por dentro	
Janine Benyus: Quando você entra em uma floresta, cada organismo é um laboratório	415
Recapitule	417
CAPÍTULO 24	
Partículas elementares	418
Física de Partículas	419
O Modelo-padrão da Física de Partículas ...	419
A constituição da matéria e os férmions	421
As forças fundamentais e os bósons	423
Ciência por dentro	
Contribuições do Modelo-padrão para a compreensão do Universo	424
 Podcast	425
Aceleradores de partículas	426
Ciência por fora	
Uma breve história da Web	428
Ciência por dentro	
Origens: os primeiros dias do CERN	429
Recapitule	431
Planeje e resolva	432
Enem e vestibulares	433
Material de apoio	440
Gabarito	442
Referências comentadas	446



ALEXANDER VEVSTAFEV/Shutterstock.com

A



Diferentes situações envolvendo a relação força e movimento na contemporaneidade industrializada e globalizada. **(A)** Grua erguendo materiais de construção; **(B)** helicóptero adaptado para carregar grandes quantidades de água, importante para combater incêndios; **(C)** balsa transportando veículos e pessoas; **(D)** complexo de linhas férreas de metro em uma grande cidade, Rio de Janeiro, 2022.



Morakot Kawinchan/istockphoto.com

B





Força e movimento

Quando se pensa na força necessária para transportar um carregamento de alimentos até seu destino, percebe-se que os processos de industrialização aumentaram significativamente a capacidade da humanidade de realizar essa tarefa. Tente imaginar como transportar todo o plantio de batata de uma região produtora até uma metrópole sem uso de tratores, caminhões ou trens.

Com a popularização dos meios de transporte mecanizados, há um avanço notável na capacidade de movimentar matéria-prima, alimentos, produtos manufaturados, adubos e outros, por distâncias cada vez maiores e com um menor gasto de tempo. Entretanto, todo avanço tecnológico tem seus problemas inerentes. Avenidas lotadas, preocupantes estatísticas de mortes por acidentes de trânsito e emissão de gases poluentes nos fazem olhar para a mobilidade das coisas e das pessoas com um olhar atencioso, sabendo que o progresso também traz consigo novos problemas. Para entender mais profundamente como força e movimento definem muito dos nossos modos de vida, é necessário compreender em detalhes como e por que os movimentos acontecem e quais são suas implicações.

Consulte no Manual do Professor as orientações, respostas e comentários referentes às atividades e aos conteúdos desta unidade e seus capítulos.

Para começar

1. Por que é mais difícil correr morro acima do que correr em uma estrada plana?
2. Como o uso de alavancas permite que forças de grande intensidades sejam exercidas?
3. Como determinar o tempo de passagem de um trem por uma linha férrea e evitar acidentes em cruzamentos com estradas?
4. Por que os limites seguros de velocidade mudam em dias chuvosos?



C



D

Representação, descrição e previsão de movimentos



wsfurlan/Stockphoto.com

Pedestres atravessam a faixa de segurança, enquanto veículos aguardam no semáforo. Av. Paulista, São Paulo, 2019.

▼ Para refletir

1. Por que as medidas de tempo e espaço são fundamentais para a Física? Como a compreensão dessas medidas ajuda a descrever o movimento de objetos e eventos?
2. Como a escolha de um referencial pode afetar a maneira como descrevemos o movimento de um objeto?
3. Explícite duas situações do seu dia em que você identifica movimento e repouso. Como essas definições são fundamentais para a compreensão do mundo físico ao nosso redor?
4. Diferencie os conceitos de posição, distância percorrida e trajetória em um movimento. Dê exemplos de como esses conceitos se aplicam em situações do dia a dia.
5. Qual é a diferença entre a velocidade observada em um velocímetro de um carro em movimento e a velocidade indicada para a viagem inteira nos computadores de bordo dos carros?

Objetivos do capítulo

- Compreender a relevância das medidas de tempo e espaço para a Física.
- Descrever movimentos a partir de diferentes referenciais.
- Conceituar movimento e repouso.
- Conceituar as definições de posição, distância percorrida e trajetória.
- Diferenciar ponto material de corpo extenso.
- Compreender a definição de velocidade média.

Relógios e réguas: medindo tempo e espaço

Ao longo de um ano, dedicamos nosso tempo a diversas atividades, como estudo, lazer, relaxamento, entre outras. O tempo investido na apreciação musical, por exemplo, pode ser monitorado por meio de algumas plataformas digitais de *streaming* de música. Essas plataformas disponibilizam dados que permitem uma análise referente à dedicação despendida nessa atividade. Isso proporciona uma noção de tempo ampliada, pois é possível saber em um instante o nosso comportamento em um determinado recorte de tempo.

Pense na música de que você mais gosta. Você já se perguntou quanto tempo ela dura? Agora, imagine que você está caminhando e ouvindo essa música. Quantos quarteirões você caminharia enquanto sua música preferida toca do início ao fim?

A resposta a essas perguntas se assemelha à resposta a questões sobre movimentação de corpos e às formas de representá-los. A duração de uma música ocorre em uma dimensão de tempo, e medimos essa duração em unidades de tempo: minutos, horas etc. Por outro lado, a medida de um quarteirão ocorre em uma dimensão de espaço. Não medimos o quarteirão utilizando um relógio ou uma ampulheta; medimos com uma escala comparadora, como a régua ou outros instrumentos. Informamos a medida de um quarteirão em unidades de comprimento: metros, polegadas etc.

Tanto as medidas de tempo quanto as de comprimento sofreram processos de padronização. Procure descobrir os motivos e as soluções apresentadas.



Resumo anual de interação com músicas em uma plataforma de *streaming*, mostrando o tempo total de escuta, os artistas mais populares, o gênero mais acessado e as músicas mais apreciadas, imprimindo em uma representação imagética a noção de tempo investido na apreciação musical.

Ciência por dentro

A medida do tempo e os eventos cíclicos da natureza

As primeiras formas conhecidas de medição do tempo utilizavam a posição dos astros no céu ou seus efeitos na Terra, como sombras, dias ou estações do ano.

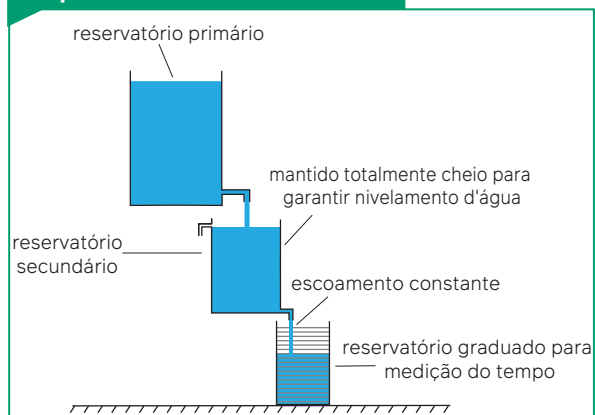
Posteriormente, os relógios de água, ou clepsidras, usavam o escoamento constante da água caindo em um recipiente graduado para medição de intervalos de tempo. Uma vez que o segundo recipiente é mantido sempre cheio, o fluxo da água se mantém constante, enchendo o terceiro recipiente.



Trocando ideias

1. Qualquer formato do terceiro recipiente serve para medição de intervalos de tempo?
2. Que outros acontecimentos cíclicos da natureza poderiam ser usados para medição de intervalos de tempo?
3. Faça uma estimativa de tempo das situações apresentadas a seguir.
 - a) Quanto tempo de sua semana é dedicado a assistir a filmes ou séries?
 - b) Durante quanto tempo, por dia, você fica na escola?
 - c) Em quanto tempo você consegue ler uma página deste livro?

Clepsidra em funcionamento



Representação esquemática de uma clepsidra em funcionamento.

Movimento e padrões na natureza

Ao olharmos ao nosso redor, perceberemos que objetos, plantas e animais podem estar ou não em movimento. Se mantivermos uma câmera fotográfica fixa em um tripé e tirarmos uma fotografia do céu a cada hora à noite, veremos uma mudança de posição das estrelas, pois há um movimento quase imperceptível que faz cada constelação se mover lentamente no céu, mas podemos tirar a conclusão de que as estrelas não mudam de posição se olharmos para cima por alguns segundos. Embora saibamos que essa mudança de posição se deve à rotação da Terra, esse exemplo deixa claro que perceber ou detectar o movimento de um corpo depende do observador.

Duas pessoas sentadas lado a lado em um ônibus que se desloca na rua, podem se entreolhar e concluir que a outra pessoa não está em movimento. No entanto, ao olharem pela janela do ônibus, elas veem as árvores e os postes de luz passando.

Uma terceira pessoa, sentada no ponto de ônibus, pode, por sua vez, olhar a passagem do veículo e concluir que as duas pessoas dentro do ônibus estão em movimento, enquanto o poste a seu lado não está em movimento, assim como as árvores ao redor e o próprio ponto de ônibus também não estão.

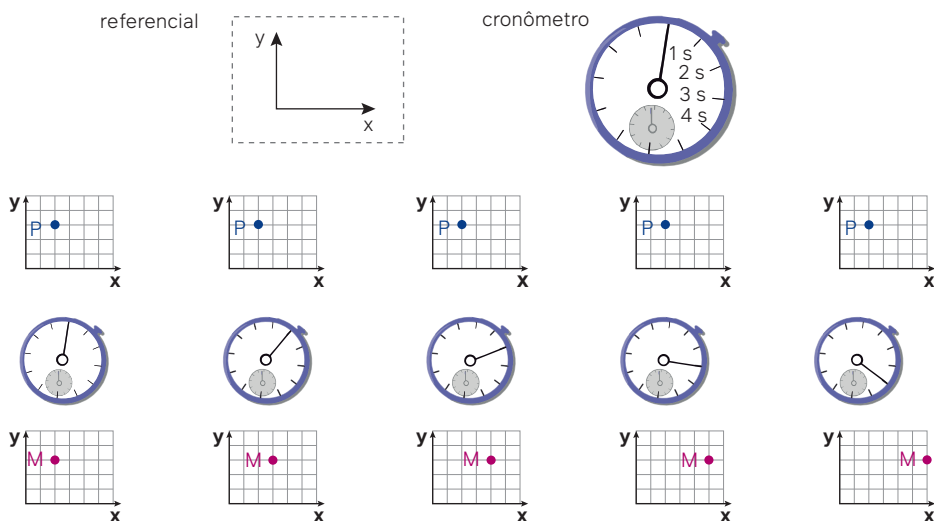


Representação esquemática do movimento visto por dois referenciais diferentes.

Para estudarmos os movimentos, precisamos sempre deixar muito claro qual é o “ponto de vista” que estamos usando. Em Física, esse ponto de vista é chamado **referencial**, um sistema de referências que escolhemos para que, a partir dele, possamos descrever e representar os movimentos. Quando informamos a localização de um corpo em relação a um referencial escolhido, estamos apresentando a **posição** desse corpo. Se a posição de um corpo (que depende do referencial escolhido) mudar com o tempo, dizemos que o corpo está em **movimento**, mas, se a posição desse corpo não mudar com a passagem do tempo, dizemos que o corpo está em **repouso**.

Atividades comentadas

- Em um referencial representado por um plano cartesiano (x,y) , o movimento de dois corpos, **P** e **M**, é avaliado observando suas posições com o auxílio de um cronômetro que mede a passagem do tempo, conforme indicado na figura. A respeito dos corpos **P** e **M**, é correto afirmar que:



- a) ambos estão em movimento em relação ao referencial indicado.
- b) **P** está em movimento em relação ao referencial indicado, mas **M** está em repouso.
- c) **P** está em repouso em relação ao referencial indicado, mas **M** está em movimento.
- d) ambos estão em repouso em relação ao referencial indicado.
- e) não é possível avaliar a situação de **P** e **M** em relação ao referencial indicado.

Resolução

O movimento de um objeto em relação a um referencial se verifica quando a posição relativa desse objeto em relação a esse referencial não muda. No caso do referencial dado, que é um sistema de eixos cartesianos, podemos verificar se há movimento pela análise das coordenadas cartesianas desse objeto: se permanecerem inalteradas durante a observação, estará em repouso; caso contrário, estará em movimento.

A figura apresenta cinco momentos em que as posições dos objetos são medidas. Com o passar do tempo, **P** mantém a mesma posição em relação ao referencial indicado, e **M** muda sua posição conforme o tempo passa; podemos dizer que **M** está se movendo para a direita.

Para que as alternativas **a** ou **b** fossem válidas, deveríamos observar alteração nas posições de **P** com o tempo; se a alternativa **d** fosse válida, as posições de **M** não se alterariam com o tempo. Finalmente, o estado de movimento dos dois objetos é bem estabelecido nesse referencial, nada se podendo dizer a respeito de outros referenciais.

Alternativa **c**.

2. Uma pessoa atravessa um rio, de uma margem à outra, remando um pequeno bote. Assinale a alternativa correta em relação ao movimento do bote.
- a) O bote está em repouso em relação a uma árvore fixa em uma das margens.
 - b) O bote está em repouso em relação à água do rio.
 - c) O bote está em movimento em relação à pessoa.
 - d) O bote está em movimento em relação às margens e em relação à água.
 - e) O bote está em repouso em relação à água, mas está em movimento em relação às margens.

Resolução

Essa situação apresenta o movimento observado a partir de dois referenciais: o da pessoa em relação à água, e o da água em relação às margens.

Se a alternativa **a** estiver correta, a pessoa estará em repouso em relação à árvore, e, por consequência, em relação à margem. Para que o bote chegue ao outro lado, é preciso que ele se desloque na água, pois, caso fique em repouso em relação à água, descerá a correnteza com o rio, mas não chegará ao outro lado, e isso invalida a alternativa **b**. Ainda, como o barco se afasta de uma margem e se aproxima da outra, sua posição muda em relação às margens com o passar do tempo; portanto, o bote está em movimento tanto em relação à água quanto em relação às margens.

Para analisar a alternativa **c**, precisamos considerar que a pessoa, enquanto rema, mantém os pés fixos no fundo do barco; é, então, razoável supor que ambos estão em repouso um em relação ao outro.

Alternativa **d**.

Saiba mais

Conceito de tempo na Física Clássica e na Física Moderna e Contemporânea

Quando falamos de tempo na Mecânica Clássica, recorremos a fenômenos naturais cíclicos conhecidos, como o período de oscilação de um pêndulo, a vazão do líquido em uma clepsidra ou a duração de uma música. No cotidiano, é assim que determinamos um intervalo de tempo e o usamos como uma quantidade fundamental para medir a duração de outros eventos, no entanto, uma das grandes revoluções no pensamento da Física ocorreu justamente na mudança de concepção sobre o que é um intervalo de tempo. Em vez de considerar o tempo como um parâmetro fixo, propôs-se que a velocidade da luz no vácuo é a quantidade invariante. Como consequência, em situações de velocidades muito grandes (próximas à velocidade da luz), um mesmo evento físico, como a oscilação de um pêndulo, tem durações diferentes para diferentes observadores. O intervalo de tempo de um evento não é absoluto, mas depende de (ou é relativo a) que referencial é utilizado. Esse é um dos conceitos que distinguem a Física Clássica da Física Moderna e Contemporânea.

Corpo extenso e ponto material

Para entendermos os acontecimentos da natureza, precisamos escolher com bastante cuidado o que vamos observar. Não conseguimos interpretar tudo o que acontece ao nosso redor, com todas as variáveis envolvidas, mas podemos definir uma parte do todo que nos interessa, simplificando a situação, e, a partir daí, descrever o que observamos e o que medimos em um evento.

Em Física, tudo que quantificamos, que medimos e que atribuímos algum valor, acompanhado de alguma unidade, é chamado de **grandeza física**. Alguns exemplos são a temperatura (35 °C), o tempo (4 h) e a distância (7 km). Conseguimos definir escalas adequadas e atribuir valor e unidade para elas.

Se estudamos um movimento, precisamos determinar o que interessa estudar. Em um evento, dependendo do que queremos quantificar, podemos desprezar certas grandezas. Isso nos permite diferenciar um corpo extenso de um ponto material. Quando o tamanho (as dimensões) de um corpo fazem diferença para a situação que estamos observando e para as grandezas físicas que estamos medindo, temos um **corpo extenso**. Quando as dimensões do corpo são irrelevantes para a situação de estudo e para as grandezas que estamos medindo, se trata de um **ponto material**, conforme indicado nas imagens a seguir.



(A) Navio no Terminal Portonave. Navegantes, Santa Catarina, 2020. Situação em que o tamanho de um navio importa e o navio é tratado como corpo extenso. (B) Trajeto de um navio no Mar do Caribe, de San Juan, Porto Rico, à Cidade do Panamá, Panamá. Situação na qual o tamanho do navio não importa e o navio é tratado como um ponto material.

Um navio de carga possui comprimento de algumas centenas de metros. Uma viagem de navio de Porto Rico até o Panamá, (B) tem distância superior a 1 500 km. O tamanho do navio é relevante para essa distância? Não. Ou seja, observamos o movimento, a viagem, o tempo, mas não nos importamos com as dimensões do navio. Por outro lado, cada atracadouro de um porto tem tamanho definido. O tamanho desse mesmo navio é relevante quando o analisamos atracando no Terminal Portonave, em Navegantes, (SC)? Sim.

Atividades comentadas

1. Indique, em cada situação apresentada a seguir, se o corpo que se move deve ser tratado como um ponto material ou como um corpo extenso:
 - a) Um trem atravessando uma ponte.
 - b) Um trem indo de São Luís (MA) a Parauapebas (PA).
 - c) Um carro indo do Rio de Janeiro (RJ) a São Paulo (SP).
 - d) Um carro estacionando em uma vaga.

Resolução

A estratégia para definir ponto material ou corpo extenso se dá pela relevância do tamanho do corpo estudado em relação ao movimento que executará.

- a) Corpo extenso, pois não se pode ignorar o tamanho do trem em uma ponte.
- b) O mesmo trem em uma viagem de centenas de quilômetros tem tamanho irrelevante; portanto, é considerado ponto material.
- c) Ponto material, pois o tamanho de um carro não é significativo em uma viagem de centenas de quilômetros.
- d) Corpo extenso, uma vez que o tamanho de um carro importa em uma garagem, podendo até impedir que ele seja estacionado.

Por onde andei

Outra informação necessária para que possamos descrever e analisar um movimento é a **trajetória** descrita. Trajetória é o caminho que um corpo móvel (que chamamos indistintamente de **móvel**) descreve em seu movimento, e pode ser obtida pela linha que une cada ponto por onde o corpo esteve. As pegadas na areia da praia indicam a trajetória do movimento de uma pessoa. As marcas da freada de um carro no asfalto são usadas por peritos de trânsito para avaliar a trajetória dos veículos em um acidente. Paraquedistas que voam de *wingsuit*, que são roupas que inflam e simulam asas, soltam rastros de fumaça para garantir que o público veja por onde passaram.



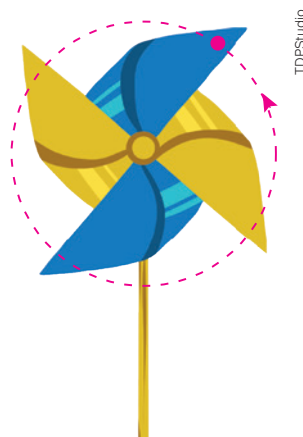
Diferentes tipos de movimentos e suas trajetórias: pegadas na areia indicando a trajetória de um caminhante (A); marcas da freada de um carro (B); e traço de fumaça de paraquedista voando com *wingsuit* (C).

Atividades comentadas

1. Você está participando de uma corrida e, para tornar o evento mais divertido, decide levar um cata-vento colorido. Enquanto corre, você segura o cata-vento de forma que ele gire livremente. Considerando esse cenário, faça o que se pede.
 - a) Descreva a trajetória de um ponto na ponta de uma das pás do cata-vento em relação ao seu rosto. Como você percebe o movimento desse ponto enquanto corre?
 - b) Imagine uma pessoa sentada à beira da rua assistindo você correr com o cata-vento. Qual seria a trajetória observada por essa pessoa do mesmo ponto na ponta da pá do cata-vento? Como essa trajetória difere da sua percepção enquanto você corre?

Resolução

- a) O observador nota que um ponto na ponta de uma pá descreve círculo, conforme representado na imagem; é, então, um movimento circular.
- b) Um observador parado na rua observa o ponto se mover em círculos e ao mesmo tempo se deslocar ao longo da rua; logo, é um movimento helicoidal. A diferença é que o portador do catavento não observa o próprio deslocamento ao longo da rua. Para ele, o catavento está em repouso.



#FicaADica

Você já brincou com um espirógrafo?

O espirógrafo é composto por um conjunto de engrenagens e anéis dentados. Encaixando corretamente as engrenagens e usando uma caneta, é possível desenhar caminhos que representam trajetórias complexas em vários sistemas de referência, incluindo a cicloide.

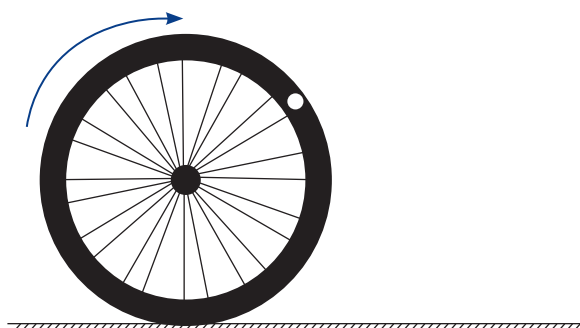
Explore a aplicação *Inspirograph*. Disponível em: <https://nathanfriend.io/inspiral-web/>. Acesso em: 5 set. 2024.



Materiais que formam um espirógrafo.



- Imagine a seguinte situação: de um balão que voa horizontalmente, é largado um objeto. Desenhe o balão e a trajetória descrita por esse objeto:
 - para quem está dentro do balão e;
 - para quem está no solo, vendo o balão passar.
- No pneu da roda de uma bicicleta é feita uma marca branca. A bicicleta é posta em movimento. A figura a seguir indica o movimento da roda da bicicleta com a marca.



TOPStudio

- Para o ciclista, que tipo de trajetória essa marca descreve?
- E para um observador que vê a bicicleta passar em sua frente?

- Durante muito tempo, ideias do geocentrismo (o Sol giraria em torno da Terra, pois a Terra estaria no centro) eram aceitas como mais corretas. Então, propôs-se o heliocentrismo (a Terra giraria em torno do Sol, pois o Sol estaria no centro), e hoje sabemos que, para um referencial externo ao Sistema Solar, a Terra orbita o Sol. Considerando esses dois astros, descreva a trajetória:
 - do Sol, para um referencial fixo na Terra;
 - da Terra, para um referencial externo ao Sistema Solar.
- Uma formiga se desloca em uma árvore na mata, indo da copa da árvore até o solo. Chegando ao solo, adentra o formigueiro por um buraco. Avalie e explique se a formiga deve ser considerada um corpo extenso ou um ponto material em ambas as situações.
- Em um experimento de Física, um cientista está dentro de um carro em movimento e lança uma pequena esfera metálica para cima antes de passar por baixo de uma ponte. Enquanto o carro passa por baixo da ponte, a esfera lançada passa por cima da ponte. Após atravessar a ponte, a esfera cai de volta na mão dele. Que trajetória essa esfera descreve para um observador em repouso junto à ponte, vendo o experimento?

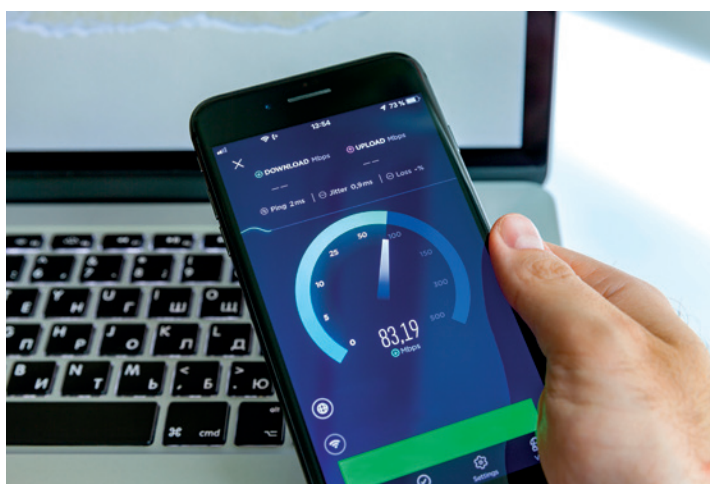
Taxa de variação e velocidade

Taxa de variação no tempo: a lógica das medições dos movimentos

Quando avaliamos alguns dados econômicos, podemos observar se uma moeda valoriza ou desvaloriza. Quando um agrônomo avalia o crescimento de uma plantação, ele observa a razão com a qual as plantas crescem. Quando usamos a internet, temos a taxa de transferência de arquivos a cada segundo. Em todos esses casos, há uma ideia fundamental que se aplica também à velocidade de móveis: a noção de **taxa de variação média**. Antes de discutirmos a rapidez de um movimento como sendo uma taxa, vamos investigar um dos casos nos quais a taxa de variação média está em nosso dia a dia.

Fazendo uma busca rápida na internet, as imagens de “velocidade da internet” quase sempre apresentam um velocímetro parecido com o dos carros. Assim, quando a internet parece lenta, podemos executar um teste de velocidade para descobrir a rapidez da rede.

Monitoramento de velocidade de conexão à internet em tempo real via *smartphone*.



Aleksey H/Shutterstock.com

Velocidade da internet e justiça social

Em um mundo cada vez mais conectado, o acesso a uma conexão de internet com alta velocidade é uma questão diretamente ligada à diminuição de desigualdades sociais.

Luis Salvatore/Pulsar Imagens



A inclusão digital por meio do acesso à internet é essencial para se obter igualdade de oportunidades, reduzindo desigualdades sociais e promovendo justiça social. Bonfim, Sobral - CE, 2019.

Especialistas da ONU apontam direitos digitais como chave para recuperação inclusiva no pós-pandemia

Na última sexta-feira, um grupo de especialistas independentes da ONU se pronunciou a respeito da defesa dos direitos humanos on-line. Eles apontaram para a ligação entre a inclusão digital e a recuperação após a pandemia de covid-19, enfatizando que a garantia do espaço cívico de debate deve ser prioridade para os governos.

O grupo pediu uma ação coletiva “para abraçar a expansão em ritmo acelerado do espaço digital e

soluções tecnológicas que sejam seguras, inclusivas e baseadas em direitos” e deixou claro que os governos, assim como o setor de tecnologia, devem tomar medidas adicionais para que seus esforços cheguem às pessoas que correm o maior risco de serem afetadas de forma desproporcional.

Ameaças à inclusão digital incluem as barreiras ao acesso a direitos humanos e serviços básicos, assim como ataques a mídias independentes e diversas, “discriminação algorítmica”, vigilância direcionada e ameaças *on-line* contra defensores dos direitos humanos. Na avaliação dos especialistas, essas ofensas influem diretamente na supressão da liberdade de expressão e da liberdade de mídia.

A defesa dos direitos humanos on-line deve fazer parte dos esforços globais para uma melhor recuperação após a pandemia da covid-19, disse um grupo de especialistas independentes das Nações Unidas na sexta-feira (04). Eles enfatizaram que os “direitos digitais” devem ser uma prioridade enquanto os países reconstróem o espaço cívico durante e após a crise.

Em sua fala, os especialistas alertaram para a tendência de uso inadequado das mídias de comunicação por parte de governos, e da necessidade das empresas detentoras dessas tecnologias de atuar para garantir os direitos de seus usuários [...]

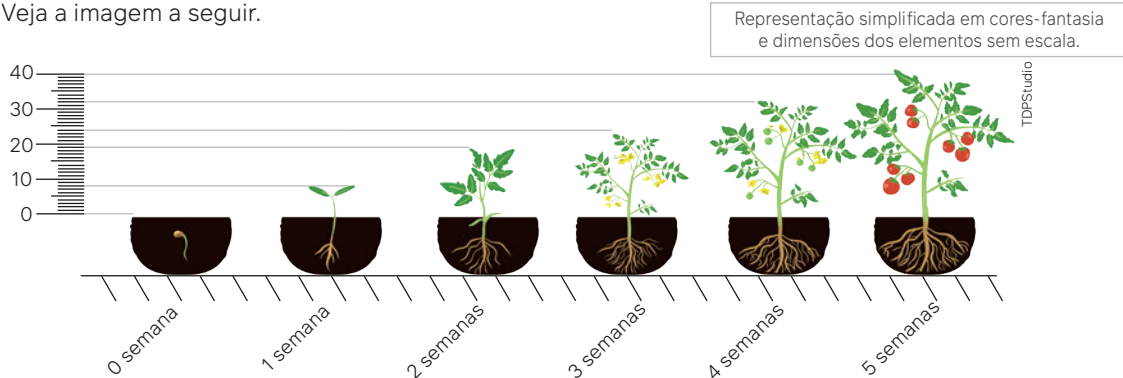
ESPECIALISTAS da ONU apontam direitos digitais como chave para recuperação inclusiva no pós-pandemia Nações Unidas Brasil. *Nações Unidas Brasil*, Brasília, DF, 8 jun. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/130568-especialistas-da-onu-apontam-direitos-digitais-como-chave-para-recupera%C3%A7%C3%A3o-inclusiva-no-p%C3%B3s>. Acesso em: 30 ago. 2024.

Trocando ideias

1. Podemos dizer que uma internet de baixa velocidade é suficiente para promoção da justiça social digital?
2. No texto, o autor cita uma série de ameaças à inclusão digital. Quais são essas ameaças e como elas podem ser combatidas?
3. Inclusão digital e direitos humanos *on-line* passaram a ser temas debatidos em publicações prestigiadas e confiáveis. Encontre textos relacionados a esses assuntos nas fontes de universidades e centros de pesquisa e responda: Há concordância entre as fontes? Que aspectos são tratados nesses textos que não foram abordados aqui?

Velocidade média como uma taxa de variação

Uma taxa de variação média é a relação entre uma grandeza que varia no tempo e o intervalo de tempo no qual a grandeza variou. A noção de taxa de variação média pode também ser utilizada para a taxa de crescimento de uma planta. Veja a imagem a seguir.



Representação dos tamanhos de uma planta, em uma escala de centímetros, ao longo do tempo.

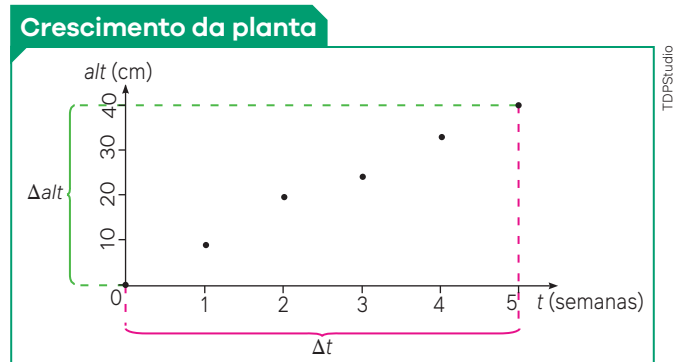
A taxa de crescimento médio da altura da planta em relação ao tempo pode ser medida pela relação $\frac{\Delta alt}{\Delta t}$. A letra grega Delta (Δ) é utilizada para denotar variação. Em cinco semanas, ou seja, $\Delta t = 5$ semanas, a altura da planta variou de zero até 40 cm (ou seja, $\Delta alt = 40$ cm).

Então, a taxa de crescimento médio da planta foi:

$$\frac{\Delta alt}{\Delta t} = \frac{40 \text{ cm}}{5 \text{ semanas}} = 8 \text{ cm/semana}$$

Isso não significa que, a cada semana, a planta cresceu 8 centímetros. Na natureza, temos dias mais secos, dias mais úmidos, e as plantas não crescem de modo constante. Dessa forma, isso significa que, nas 5 semanas, **em média**, o crescimento da planta foi de 8 centímetros em cada semana. Isso pode ser verificado graficamente:

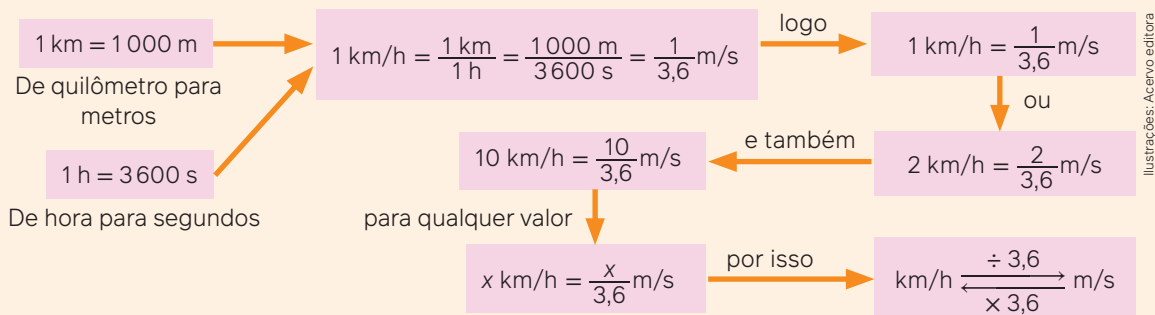
Observando a representação no gráfico, em média, o crescimento se deu segundo a taxa de 8 centímetros por semana, que pode ser escrita como 8 cm/semana. Isso é, a velocidade média de crescimento da planta.



Representação gráfica dos valores da altura da planta a cada semana de crescimento. Os pontos indicam as alturas em função do tempo. Os intervalos indicam: Δalt = variação da altura; e Δt = variação do tempo.

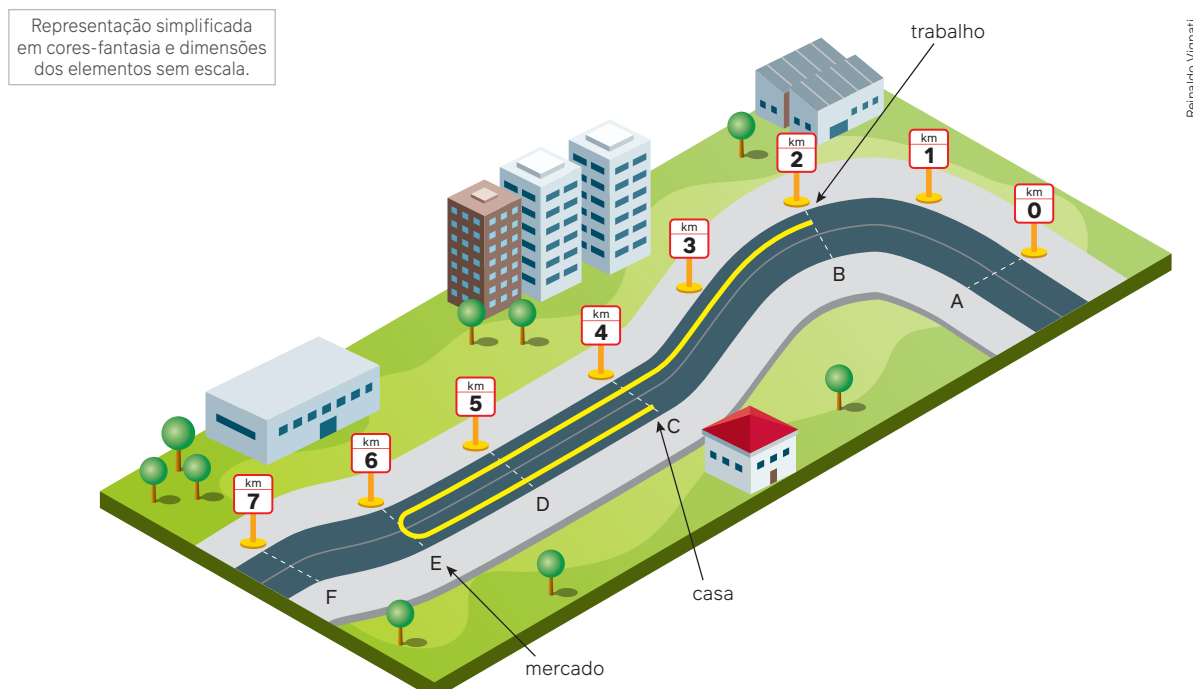
Se liga

Tratamos dos valores de velocidade em diferentes sistemas de unidade. O Sistema Internacional de Unidades (SI) é o sistema de unidades mais amplamente utilizado no mundo, estabelecido para padronizar as medições científicas e técnicas. No SI, a unidade de velocidade é dada em metros por segundo (m/s). Nos carros e ônibus onde andamos, as velocidades são indicadas em quilômetros por hora (km/h). Precisamos, muitas vezes, converter uma mesma velocidade de uma unidade para outra, seja para solucionar uma situação-problema, seja para compreendermos melhor uma situação. A conversão de velocidades de m/s para km/h (ou vice-versa) é feita da seguinte forma:



Posição, variação do espaço e distância percorrida

No estudo sobre o movimento dos corpos, é fundamental distinguir três conceitos essenciais: a localização de um móvel em relação a um referencial, chamada de **posição**; a soma de todas as distâncias trilhadas por um móvel, que é a **distância percorrida**; e a diferença entre a posição de partida e a posição de chegada do móvel, chamada de **variação do espaço**. Considere a figura esquematizada a seguir:



A figura representa uma trajetória orientada, com placas de marcos quilométricos a partir de **A** e com três localidades de interesse: casa, trabalho e mercado, cada um em um marco quilométrico diferente.

Uma pessoa trabalha no local representado pelo ponto **B** na estrada. Saindo do trabalho, a pessoa vai até o mercado, que está no ponto **E**, e, depois, vai para sua casa, que fica no ponto **C**. Essa estrada possui placas que indicam os marcos quilométricos e, por isso, é chamada de **trajetória orientada**. Para o caminho que a pessoa fez, vamos analisar, na ida, na volta e no total as posições, as distâncias percorridas e as variações do espaço. Veja os quadros a seguir:

Posição (x)		Distância percorrida (d)		Variação do espaço (Δx)	
Posição do ponto B	$x_B = 2 \text{ km}$	Distância percorrida de B a E	$d_{(B \rightarrow E)} = 4 \text{ km}$	Variação do espaço de B a E	$\Delta x_{(B \rightarrow E)} = x_E - x_B = +4 \text{ km}$
Posição do ponto E	$x_E = 6 \text{ km}$	Distância percorrida de E a C	$d_{(E \rightarrow C)} = 2 \text{ km}$	Variação do espaço de E a C	$\Delta x_{(E \rightarrow C)} = x_C - x_E = -2 \text{ km}$
Posição do ponto C	$x_C = 4 \text{ km}$	Distância total percorrida	$d_{\text{tot}} = 6 \text{ km}$	Variação do espaço de B a C	$\Delta x_{(B \rightarrow C)} = x_C - x_B = +2 \text{ km}$

Fonte: Elaborados apenas para fins didáticos.

Podemos notar que as variações do espaço (Δx) podem ser consideradas positivas ou negativas, em relação à posição e ao sentido do referencial adotado. Já as distâncias percorridas só podem ter valores absolutos.

Nos trechos em que a pessoa se deslocava a favor das placas indicativas (de **B** para **E**), dizemos que o movimento foi **progressivo**. Nos trechos em que a pessoa se desloca contrariamente ao sentido das placas (de **E** para **C**), dizemos que o movimento foi **retrogrado**.

Calculamos velocidade média (v_M) como uma taxa de variação média do espaço (Δx) no tempo (Δt):

$$v_M = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Atividades comentadas

1. As corridas de rua já se popularizaram há algumas décadas. Percursos que vão de poucos quilômetros até uma maratona completa atraem corredores que querem competir pelos prêmios oferecidos ou que querem apenas provar para si mesmos que conseguem concluir uma atividade física de grande intensidade. A tabela a seguir apresenta marcos quilométricos da Meia Maratona do Rio de Janeiro de 2022 e algumas cronometragens de um corredor em certos pontos da prova.

Marcos de espaço e de tempo da prova				
	São Conrado	Leblon	Copacabana	Leme
Posição (km)	0	4,8	10,2	12
Instante (min)	0	17	47	57

Fonte: Elaborado apenas para fins didáticos.

- Qual é a variação do espaço no trecho do Leblon até Copacabana?
- Quanto tempo se passou entre as passagens do corredor por Leblon e por Copacabana?
- Qual foi a velocidade média do corredor entre Leblon e Copacabana?
- Considere os três trechos a seguir, com as posições e respectivos instantes de passagem do corredor, conforme indicados na tabela:
 - trecho **A**: da largada até o Leblon;
 - trecho **B**: do Leblon até Copacabana;
 - trecho **C**: de Copacabana ao Leme.Em qual trecho o corredor foi mais veloz?

Resolução

- a) O Leblon está na posição $x_i = 4,8$ km, enquanto Copacabana está em $x_f = 10,2$ km. A variação do espaço Δx é:

$$\Delta x = x_f - x_i = 10,2 - 4,8 \therefore \Delta x = 5,4 \text{ km}$$

- b) O corredor passa pelo Leblon no instante $t_i = 17$ min e passa por Copacabana no instante $t_f = 47$ min. O intervalo de tempo Δt foi de:

$$\Delta t = t_f - t_i = 47 - 17$$

$$\Delta t = 30 \text{ min ou } \Delta t = 0,5 \text{ h}$$

- c) Sendo a velocidade média $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{5,4}{0,5} \therefore v_m = 10,8 \text{ km/s}$$

Observe que essa velocidade está dada em unidades usuais. Se desejarmos expressar a mesma velocidade em unidades do Sistema Internacional de Unidades, ou seja, em m/s, podemos fazer:

$$\Delta x = 5,4 \text{ km ou } \Delta x = 5400 \text{ m}$$

$$\Delta t = 30 \text{ min ou } \Delta t = 30 \cdot 60 \therefore \Delta t = 1800 \text{ s}$$

$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{5400}{1800} \therefore v_m = 3 \text{ m/s}$$

Assim, 10,8 km/h equivalem a 3 m/s. Essa equivalência sugere a seguinte relação entre as unidades de velocidade:

$$\text{km/h} \begin{array}{c} \xrightarrow{\times 3,6} \\ \xleftarrow{\div 3,6} \end{array} \text{m/s}$$

GLOSSÁRIO

Maratona: é uma corrida de longa distância. Com distância estabelecida, em 1908, de 42,195 km, integra as modalidades olímpicas desde 1896. A Meia Maratona do Rio de Janeiro tem 21 km de extensão e, desde 1997, integra o calendário esportivo brasileiro. Em 2022, a prova foi disputada entre a praia de São Conrado e o Aterro do Flamengo.

d) Velocidade média no trecho **A**: $v_{mA} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

$$\Delta x = 5 \text{ km}; \Delta t = 17 \text{ min ou } \Delta t = \frac{17}{60} \text{ h}$$

$$v_{mA} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{5}{\frac{17}{60}} \therefore v_{mA} = 17,6 \text{ km/h}$$

Velocidade média no trecho **B**:

$$v_{mB} = 10,8 \text{ km/s (calculada no item c)}$$

Velocidade média no trecho **C**:

$$v_{mC} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\Delta x = 1,8 \text{ km}; \Delta t = 10 \text{ min ou } \Delta t = \frac{10}{60} \text{ h}$$

$$v_{mC} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1,8}{\frac{10}{60}} \therefore v_{mC} = 10,8 \text{ km/h}$$

Logo, no trecho **A** o corredor foi mais veloz.

Atividades propostas



1. A posição de um corpo em movimento uniforme varia com o tempo, conforme a tabela a seguir.

Posição em função do tempo							
x (m)	13	20	27	34	41	48	55
t (s)	0	1	2	3	4	5	6

Fonte: Elaborado apenas para fins didáticos.

Qual é a velocidade média desse corpo ao longo de toda essa trajetória?

2. Indique, em cada caso, se os seguintes objetos estão em repouso ou em movimento.
- Uma mulher esperando para atravessar a rua em relação à calçada.
 - O relógio na parede em relação a um carro a uma velocidade de 50 km/h.
 - Um menino correndo em relação à sua mãe sentada num banco.
 - Duas formigas voltando para o formigueiro, com a mesma velocidade, uma em relação à outra.

- e) O Sol em relação ao planeta Terra.

3. Considere um avião no ar, com velocidade de 900 km/h, saindo de São Paulo e indo até Roma, na Itália.

a) Qual é a velocidade desse avião em m/s?

b) Se o voo continuar com essa velocidade ao longo de toda trajetória, qual distância ele terá percorrido depois de 5,5 horas?

4. Em uma viagem de carro até o litoral, uma família leva 2 horas e 30 minutos para se deslocar por 125 km.

a) Calcule a velocidade média do veículo em km/h.

b) A velocidade calculada no item a não é necessariamente a que o veículo teve ao longo de toda trajetória, somente a média de todas elas. Explique a diferença entre velocidade média e a velocidade que o veículo pode ter em determinado instante.

5. Qual é a velocidade média de um carro que percorre metade de uma estrada a 30 km/h e a outra metade a 10 km/h?

Recapitule



Neste capítulo, aprendemos algumas noções fundamentais do estudo dos movimentos, com ponto material, corpo extenso, trajetória, movimento e repouso. Estudamos também a de taxa de variação média, e vimos como essa noção pode ser utilizada para avaliarmos a velocidade de um carro ou de uma bicicleta. Aprimoramos nossa habilidade de converter unidades de medida das velocidades e de observarmos dados de espaço e tempo apresentados de diferentes formas em uma situação real. Vimos também que o exercício da cidadania se faz desde o respeito às regras de trânsito até na construção da justiça social por meio de acesso às redes de internet.

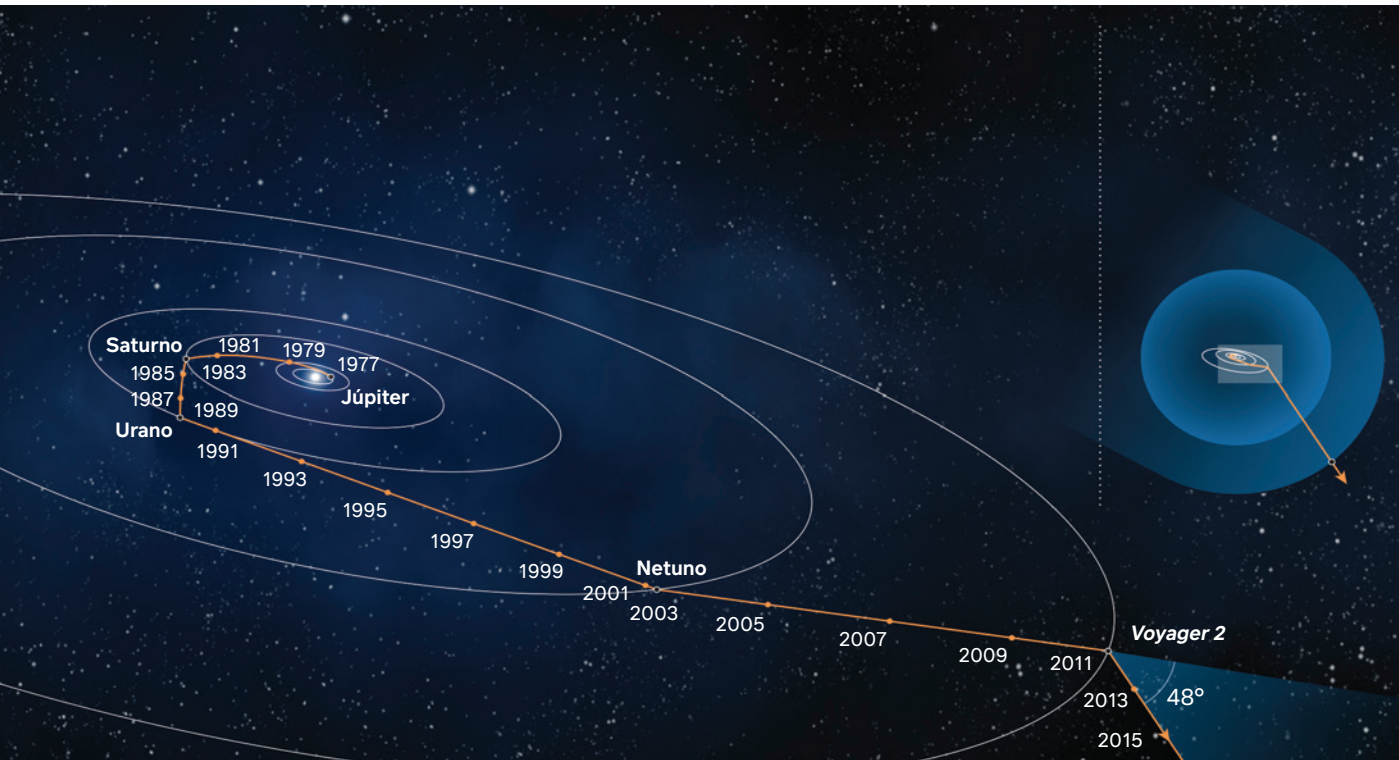
Agora, produza um breve fichamento, escrevendo em seu caderno ao menos cinco conceitos que você julgou serem muito importantes ao longo do capítulo.

Retome as questões que constam na abertura do capítulo, no box **Para refletir**. Com base no que você aprendeu, como responderia a essas questões? Você alteraria alguma resposta?

Desafie-se a responder:

- Em alguns países, a velocidade dos automóveis é indicada em milhas por hora (mi/h). Sabendo que uma milha tem aproximadamente 1,6 km, qual é a velocidade, em m/s, de um carro que está a 100 mi/h?
- Qual é a velocidade de internet mais rápida disponível no município em que você reside?

Padrões matemáticos dos movimentos uniforme e uniformemente variado



Oraclic Art

Representação esquemática de posições e tempo da sonda *Voyager 2* e posições de Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. No canto superior direito, uma visão ampliada esquematiza o Sistema Solar (ao centro), seus limites (casca esférica azul) e a posição da sonda em 2018, entrando no espaço interestelar.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Para refletir

Em 1977, a sonda espacial *Voyager 2* foi lançada da Terra para o espaço. O objetivo do lançamento foi o estudo de outros planetas Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, além do estudo sobre o espaço interestelar para além do Sistema Solar. Em sua viagem, a *Voyager 2* passou por várias mudanças de trajetória e de velocidade para que sua missão fosse cumprida. A imagem de abertura deste capítulo mostra um esquema das posições da sonda espacial a cada dois anos.

1. Como é possível sabermos o local onde um móvel estará em um dado momento futuro?
2. De que forma a trajetória de uma sonda espacial pode ser prevista?
3. Qual é o papel da Matemática na previsão dos movimentos?

Objetivos do capítulo

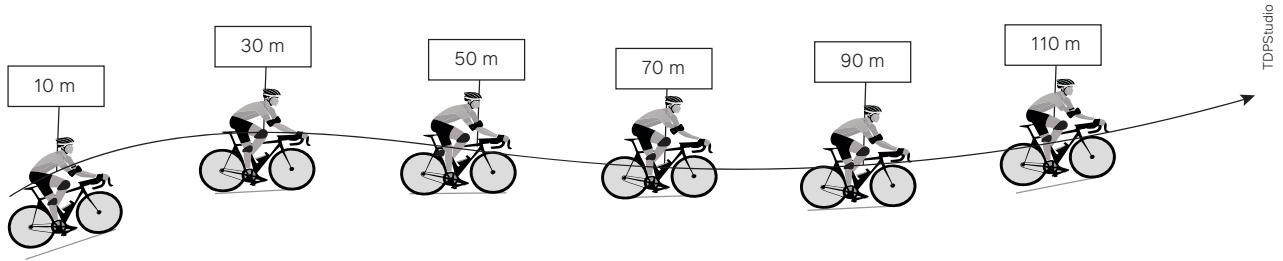
- Compreender as representações matemáticas dos movimentos.
- Analisar trajetórias e posições a partir de informações gráficas.
- Avaliar riscos em diferentes velocidades.

Movimento que se mantém

Já aprendemos que a velocidade de um objeto é muito importante para entendermos seu movimento e, em algumas situações, podemos ter movimentos que mantêm a velocidade inalterada. Movimentos desse tipo são chamados de **movimento uniforme**, porque a taxa com a qual a posição do objeto varia se mantém constante. Uma característica de o movimento ser uniforme é que sua descrição matemática pode ser feita com uma função de primeiro grau, como veremos.

Função horária do movimento uniforme

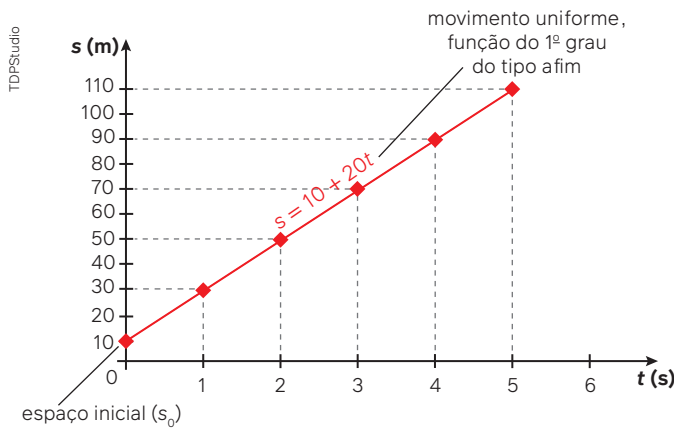
Observe o caso: Um ciclista se desloca em uma pista e um fotógrafo registra uma foto do seu movimento a cada segundo. As posições do ciclista são mostradas na imagem a seguir:



Sucessivas posições de um ciclista, a cada segundo.

A variação dessas posições no tempo pode ser representada em uma tabela, em um gráfico ou por uma função matemática. Na tabela a seguir, vemos as posições a cada segundo de movimento, possibilitando que a velocidade seja obtida:

Posições do ciclista, a cada segundo						
instante t (s)	0	1	2	3	4	5
posição s (m)	10	30	50	70	90	110



$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{30 - 10}{1 - 0} = 20 \therefore v = 20 \text{ m/s}$$

Como $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, podemos escrever: $v = \frac{s - s_0}{t - t_0}$

$$s - s_0 = v(t - t_0) \text{ ou } s = s_0 + v(t - t_0).$$

Considerando $t_0 = 0$, teremos

$$s = s_0 + v \cdot t$$

Esta é a função horária do movimento uniforme, expressa por uma função afim, cujo gráfico é uma reta.

Para o caso do ciclista, em que $s_0 = 10 \text{ m}$ e

$v = 20 \text{ m/s}$, a função horária é

$$s = 10 + 20 \cdot t$$

As características de um movimento podem ser apresentadas em tabelas, gráficos ou pela lei horária das posições. Acima, dados da tabela; abaixo, à esquerda, os mesmos dados em um gráfico; à direita, a função horária do movimento uniforme, obtida a partir dos dados da tabela.

O gráfico representa o mesmo movimento, mas em um sistema cartesiano de posição em função do tempo. Como a velocidade é constante, as posições sempre variam a mesma quantidade a cada segundo e, por isso, o gráfico indica uma reta.

Ao lado do gráfico, podemos obter a **função horária do movimento uniforme** partindo da definição de velocidade. Na função horária do movimento uniforme, a posição inicial (s_0) e a velocidade (v) são constantes, e a posição do corpo (s) varia dependendo do instante (t).

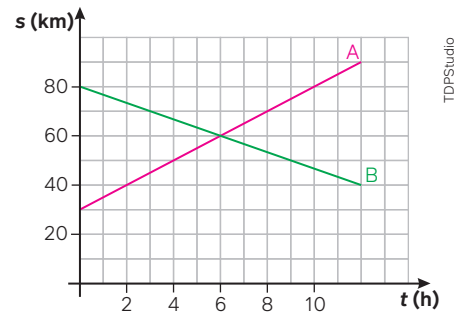
Por isso, mesmo que o fotógrafo só tenha registrado os primeiros 5 s de movimento, se a velocidade for constante, podemos prever a posição do ciclista no instante $t = 120 \text{ s}$, no instante $t = 30 \text{ s}$, ou em qualquer outro.

Atividades comentadas

1. Dois carros, **A** e **B**, se deslocam lentamente em uma rodovia e têm seus movimentos indicados no gráfico ao lado.

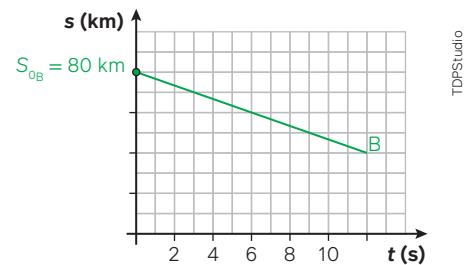
Com base nas informações do gráfico, faça o que se pede.

- Determine as posições iniciais dos carros **A** e **B**.
- Determine as velocidades dos carros **A** e **B**.
- Indique as equações horárias dos dois movimentos.
- Calcule a posição e o instante do encontro entre os dois carros e verifique a resposta graficamente.

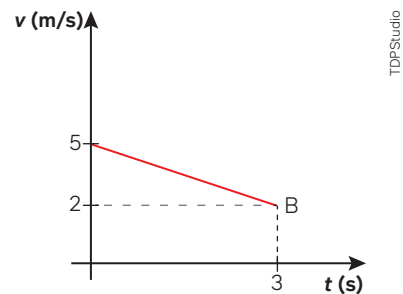
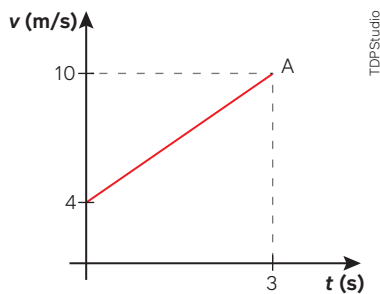


Resolução

- a) As posições iniciais são informações obtidas diretamente do gráfico. Elas representam o coeficiente linear das duas equações das retas. Em outras palavras, são os pontos onde os gráficos se iniciam, em $t=0$. Logo, a posição inicial do carro **A** é 30 km, e a posição inicial do carro **B** é 80 km.



- b) As velocidades são dadas pelas taxas de variação média do espaço em relação ao tempo, ou seja, pelo coeficiente angular da inclinação da reta:



É comum atribuir velocidades negativas a móveis, e isso ocorre quando seus movimentos se dão no sentido oposto aos das placas indicadoras de posições nas estradas, por exemplo. Movimentos com velocidades negativas são chamados de **retrógrados**, e movimentos com velocidades positivas são chamados de **progressivos**.

- c) Conhecendo a posição inicial e a velocidade, as equações horárias dos dois movimentos são construídas da seguinte forma:

$$s_A = s_{0A} + v_A t \Rightarrow s_A = 30 + 5t$$

$$s_B = s_{0B} + v_B t \Rightarrow s_B = 80 - \frac{10}{3}t$$

- d) Quando ocorre um encontro $s_A = s_B$, pois os dois móveis estão na mesma posição.

$$s_A = s_B \Rightarrow 30 + 5t = 80 - \frac{10}{3}t \Rightarrow 5t + \frac{10}{3}t = 80 - 30 \Rightarrow$$

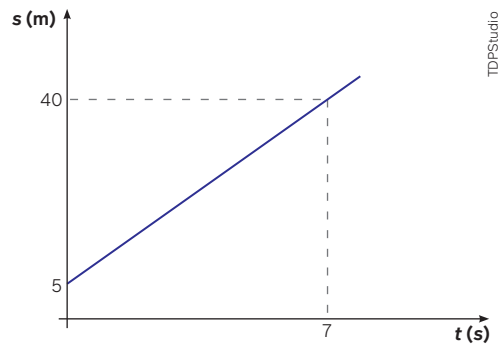
$$\Rightarrow \frac{15}{3}t + \frac{10}{3}t = 50 \Rightarrow \frac{25}{3}t = 50 \Rightarrow t = \frac{150}{25} \therefore t = 6 \text{ h}$$

Observando o gráfico, os móveis têm suas retas representativas do movimento se cruzando em $t = 6 \text{ h}$, o que confirma o resultado calculado.

2. Considere o gráfico da posição em função do tempo a seguir, representando um movimento uniforme.

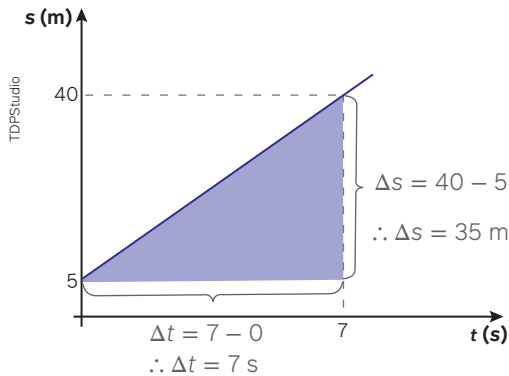
a) Determine o gráfico da velocidade em função do tempo nos 7 segundos de movimento.

b) Qual é o significado físico do valor calculado para a área sob o gráfico da velocidade em função do tempo?



Resolução

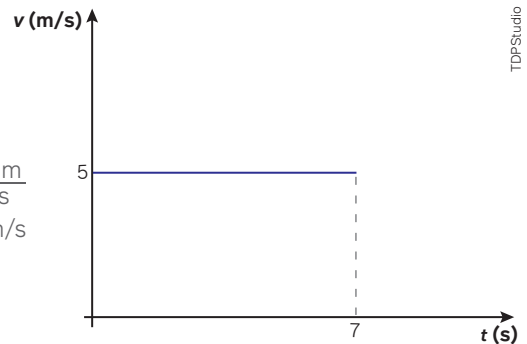
a) A velocidade é obtida pelo coeficiente angular da reta, e o gráfico da velocidade será constante porque, ao longo do movimento, a velocidade não se altera.



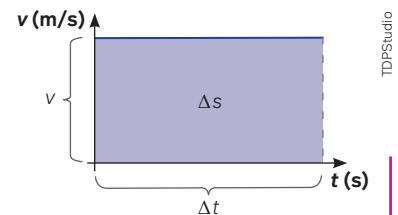
$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$v = \frac{35 \text{ m}}{7 \text{ s}}$$

$$v = 5 \text{ m/s}$$



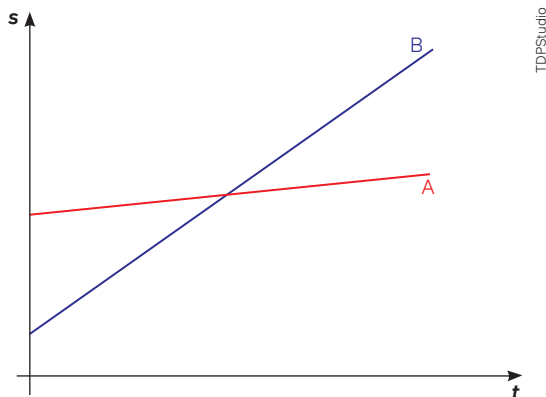
b) Uma vez que se trata de um retângulo, a área é calculada pelo produto das medidas da base (que equivale ao intervalo de tempo) pela altura (que equivale à variação de velocidade). Logo, a área sob o gráfico da velocidade em função do tempo tem dimensão de comprimento e, portanto, indica o espaço percorrido.



Atividades propostas



1. Dois móveis, **A** e **B**, se deslocam com movimentos uniformes, de acordo com o gráfico a seguir.



Sobre seus movimentos, é correto afirmar que:

- o móvel **A** é mais veloz que o **B**.
 - ambos partiram da mesma posição.
 - os móveis nunca se encontram.
 - no início do movimento, o móvel **B** está atrás do **A**.
 - ambos têm a mesma velocidade.
2. A função horária de um movimento uniforme é dada por $x = 50 + 25t$, com x em metros e t em segundos. Podemos afirmar corretamente que:
- após 1 segundo de movimento, o móvel estará na posição $x = 100$ m.
 - o móvel parte da posição $x_0 = 25$ m.
 - a velocidade do móvel é 50 m/s.
 - no instante $t = 3$ s, o móvel está em repouso.
 - o móvel passa pela posição $x = 100$ m no instante $t = 2$ s.

Velocidade média e acidentes de trânsito

É sabido que as altas velocidades de veículos são responsáveis por acidentes de trânsito, mas não costuma-se ver a relação entre fatores socioeconômicos e acidentes por altas velocidades, tampouco dados que mostrem o quanto o aumento na velocidade média dos veículos pode influenciar esses acidentes. Leia, a seguir, um documento orientador da Organização Panamericana da Saúde (OPAS) sobre essa relação.

Segurança no trânsito

A segurança no trânsito diz respeito às medidas tomadas para reduzir o risco de lesões e morte. Por meio de coordenação e colaboração intersetorial, os países da Região das Américas podem trabalhar para melhorar suas legislações de segurança no trânsito e criar um ambiente mais seguro, acessível e sustentável para os sistemas de transporte, bem como para todos os usuários das vias. A velocidade excessiva contribui para cerca de um terço de todas as mortes que ocorrem no trânsito em países de alta renda e metade delas em países de baixa e média renda.

Principais fatos

- 90% das mortes no trânsito ocorrem em países de baixa e média renda.
- Os acidentes nas vias custam aos países cerca de 3% de seus produtos internos brutos.
- Quase metade (49%) das pessoas que morrem nas vias em todo o mundo são pedestres, ciclistas e motociclistas.
- Pedestres, motociclistas e ciclistas são as principais vítimas no trânsito em todas as sub-regiões, exceto na América do Norte, onde os motoristas de automóveis são os principais afetados.
- Na Região das Américas, usuários vulneráveis das estradas, como pedestres, motociclistas e ciclistas, representam 23%, 15% e 3% das mortes no trânsito, respectivamente.
- Homens correm maior risco de morrer por acidentes de trânsito do que mulheres.
- Dos países da Região, 21 possuem legislação sobre o uso de cinto de segurança.
- A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável fixou uma meta ambiciosa quanto à segurança no trânsito, que consiste em reduzir pela metade, até 2020, o número de mortos e feridos por acidentes de trânsito em todo o mundo.
- 93% das mortes no trânsito ocorrem em países de baixa e média renda, embora estes concentrem aproximadamente 60% dos veículos do mundo.

[...]

Folha informativa

É essencial que os países implementem medidas que tornem as vias e rodovias mais seguras não apenas para os motoristas de carros, mas também para os usuários mais vulneráveis, como pedestres, ciclistas e motociclistas. Os usuários vulneráveis representam a maior proporção de mortes e lesões em países de renda baixa e média da Região. De fato, as mortes de motociclistas no trânsito aumentaram de 15% em 2010 para 20% em 2013, refletindo o aumento do número de motocicletas. Os jovens das Américas correm maior risco de lesões ou mortes por acidentes de trânsito.

Quem está em risco?

Status socioeconômico

Mais de 90% das mortes no trânsito ocorrem em países de baixa e média renda. As taxas de mortalidade por lesões no trânsito são mais elevadas na região africana da OMS. Mesmo em países de alta renda, pessoas de menor nível socioeconômico são mais propensas a se envolver nesses eventos.

Idade

As lesões ocorridas no trânsito são a principal causa de morte entre crianças e jovens de 5 a 29 anos.

Sexo

Desde cedo, os homens são mais propensos a se envolver em acidentes de trânsito do que as mulheres. Cerca de três quartos (73%) de todas as mortes no trânsito ocorrem entre jovens do sexo masculino com menos de 25 anos – que têm quase três vezes mais chances de morrer em acidentes de trânsito do que mulheres jovens.

Fatores de risco

Enfoque de sistemas de segurança: considerando erros humanos

O enfoque de sistemas seguros (Safe System) advoga por transportes seguros para todos os usuários das vias. Essa abordagem considera a vulnerabilidade das pessoas às lesões graves no trânsito e reconhece que o sistema deveria ser projetado para acomodar erros humanos. Os pilares desse enfoque são as vias e corredores seguros, a velocidade segura, os veículos seguros e os usuários das vias seguros – os quais devem ser abordados para eliminar lesões fatais e reduzir lesões graves no trânsito.



Velocidade

[...] Cada aumento de 1% na velocidade média produz, por exemplo, um aumento de 4% no risco de acidente fatal e um aumento de 3% no risco de acidente grave. O risco de morte para pedestres atingidos frontalmente por automóveis aumenta consideravelmente (4,5 vezes de 50 km/h para 65 km/h). No choque entre carros, o risco de morte para seus ocupantes é de 85% a 65 km/h.

Condução sob influência de álcool e outras substâncias

Conduzir sob a influência de álcool ou qualquer substância ou droga psicoativa aumenta o risco de acidente com morte e lesões graves. O risco de uma colisão no trânsito começa com baixos níveis de concentração de álcool no sangue e aumenta significativamente quando a Concentração de Álcool no Sangue (BAC) do motorista é $\geq 0,04$ g/dl. No caso do uso de drogas psicoativas, o risco de incorrer em um acidente de trânsito aumenta em diversos graus. O risco de acidente fatal com uma pessoa que consumiu anfetaminas, por exemplo, é cerca de 5 vezes o risco de alguém que não o fez.

Não utilização de capacetes para motociclistas, cintos de segurança e sistemas de retenção para crianças

O uso correto de capacetes pode reduzir em 42% o risco de mortes e em 69% o risco de lesões graves. Usar o cinto de segurança reduz o risco de morte entre motoristas e passageiros dos bancos dianteiros entre 45% e 50% e o risco de morte e lesões graves entre passageiros dos bancos traseiros em 25%. O uso de sistemas de retenção para crianças pode reduzir em 60% o número de mortes.

Direção distraída

Existem muitos tipos de distrações que podem levar a uma condução prejudicada. [...] O uso de um telefone ao dirigir diminui os tempos de reação (principalmente o tempo de reação da frenagem, mas também a reação aos sinais de trânsito) e dificulta que o condutor mantenha o carro na pista correta e guarde as distâncias de segurança. A opção de viva-voz nos veículos não é muito mais segura do que os telefones à mão e as mensagens de texto durante a direção aumentam consideravelmente o risco de um acidente.

Trocando ideias

1. Pensando no aprendizado da cinemática, como podemos usar a Física para conscientizar as pessoas sobre os riscos de acidentes?
2. Que argumento você usaria para convencer um tomador de decisão, como um prefeito, a não aumentar a velocidade média de uma via de trânsito?

Infraestrutura viária insegura

O desenho das vias pode ter um impacto importante em sua segurança. Idealmente, elas devem ser projetadas considerando a segurança de todos os usuários das vias. Isso significa garantir serviços adequados para pedestres, ciclistas e motociclistas. Medidas como calçadas, ciclovias, pontos de passagem seguros e outras formas de ordenamento do trânsito são fundamentais para reduzir o risco de lesões.

Veículos inseguros

Veículos seguros desempenham um papel essencial na prevenção de acidentes e na redução da probabilidade de lesões graves. Há uma série de regulamentos das Nações Unidas sobre segurança veicular que, se aplicados aos padrões de produção dos países, potencialmente salvariam muitas vidas. Isso inclui exigir que os fabricantes de veículos cumpram as regulamentações de impacto dianteiro e lateral, incluindo controle eletrônico de estabilidade, airbags e cintos de segurança em todos os veículos. Sem esses padrões básicos, o risco de lesões no trânsito – tanto para os que estão nos veículos quanto para os que estão fora deles – aumenta consideravelmente.

Atenção inapropriada após acidentes

A demora na detecção e no atendimento aos envolvidos em um acidente de trânsito aumentam a gravidade dos ferimentos. O cuidado com as lesões é extremamente sensível ao tempo: atrasos de minutos podem fazer a diferença entre a vida e a morte. Melhorar os cuidados após os acidentes requer a garantia de acesso ao atendimento pré-hospitalar oportuno e à melhoria da qualidade do atendimento pré-hospitalar e hospitalar, por meio de programas de treinamento especializado, por exemplo.

Cumprimento insuficiente das normas/leis de trânsito

Se as leis de trânsito [...] não forem cumpridas, elas não poderão resultar na redução esperada nas mortes e lesões no trânsito. A aplicação efetiva da legislação inclui o estabelecimento, atualização regular e cumprimento de leis em níveis nacional, estadual e municipal que abordam os fatores de risco mencionados acima. Inclui também a definição das penalidades apropriadas. [...]

ONU. Organização Pan-Americana da Saúde. *Segurança no trânsito*. [S. l.]: Opas, [20--]. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/topicos/seguranca-no-transito>. Acesso em: 21 jun. 2024.

Movimentos que variam

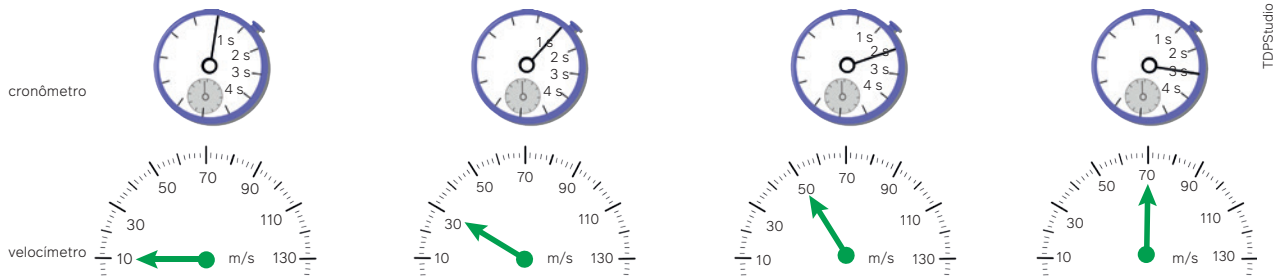
Esqui de velocidade é o esporte não motorizado mais rápido do mundo, que consiste em descer uma montanha em linha reta na maior velocidade possível, frequentemente atingindo e superando os 200 km/h. Como não há motorização, a velocidade do esquiador aumenta durante a descida devido apenas à ação da gravidade terrestre, acelerando até sua velocidade máxima.

Quando dizemos que o esquiador acelerou, significa dizer que sua velocidade não se manteve a mesma. Móveis que têm mudanças na velocidade durante seus movimentos têm aceleração.

Vamos explorar um outro exemplo. Se cronometrarmos um velocímetro girando o ponteiro enquanto um carro aumenta sua velocidade, podemos ter uma medida da aceleração.



Esquiador descendo uma rampa durante as finais da Copa do Mundo de Esqui de Velocidade. Andorra la Vella, Andorra, 2022.



Velocímetro hipotético de um carro, graduado em metros por segundo, e cronômetro medindo os instantes em que a velocidade avança.

Na imagem anterior, temos que, após 1 s, a velocidade do carro passou de 10 m/s para 30 m/s, variando $\Delta v = 30 - 10 = +20$ m/s. Depois, a cada segundo que se passa, a velocidade varia +20 m/s, e +20 m/s, e +20 m/s etc. Assim, a taxa de variação da velocidade foi de +20 m/s a cada segundo. Essa taxa é chamada de **aceleração**.

Generalizando, podemos dizer que mudanças de velocidade estão ligadas à presença de uma aceleração. Já sabemos que a velocidade é a taxa de variação do espaço em relação ao tempo. A aceleração também é uma taxa, a diferença é que a aceleração é a taxa de variação da velocidade em relação ao tempo.

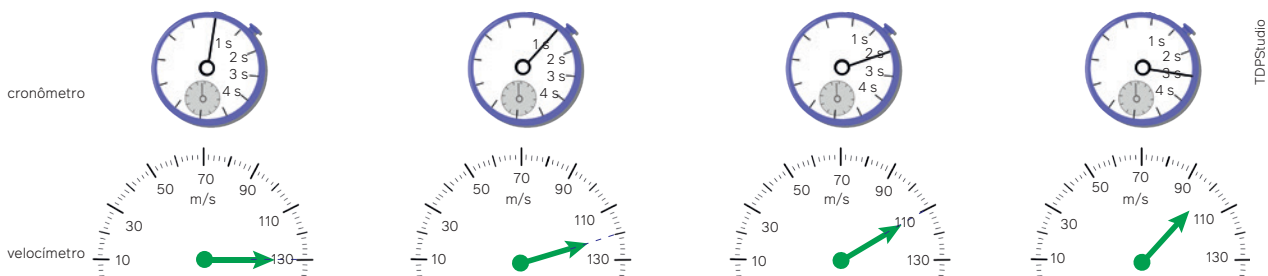
Movimentos cuja velocidade varia apresentam aceleração, por isso são chamados de movimentos variados.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \left[\frac{\text{m/s}}{\text{s}} = \text{m/s}^2 \right]$$

Unidade de
aceleração
no S.I.

Atividades comentadas

- Determine a aceleração de um carro de corrida que apresenta, inicialmente, uma velocidade de +130 m/s numa pista e que, ao pisar no freio, tem sua velocidade variando conforme indicado pelo cronômetro e pelo velocímetro a seguir.



Resolução

Como a aceleração é a taxa de variação da velocidade a cada segundo, teremos:

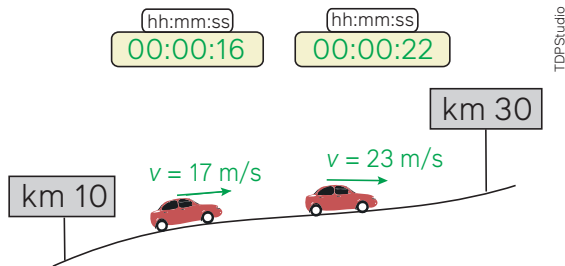
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0} \Rightarrow a = \frac{100 - 130}{3 - 0} \Rightarrow a = \frac{-30}{3} \therefore a = -10 \text{ m/s}^2$$

Neste problema, calcula-se a aceleração e obtém-se um valor negativo, pois há um móvel freando. Ainda que este seja o caso, há que se tomar um cuidado: nem sempre que a aceleração for negativa teremos um móvel freando. Para velocidades e acelerações, o sinal de positivo ou negativo apenas indica o sentido dessas grandezas. Por isso, se tivermos uma velocidade negativa e uma aceleração também negativa, temos o caso de um móvel acelerando. Vamos explorar essa ideia no próximo problema.

2. Entre os quilômetros 10 e 30 de uma estrada, dois radares marcam as velocidades dos carros e dois cronômetros registram os instantes dessas marcações. Para cada caso apresentado a seguir, os valores absolutos das velocidades são mostrados, bem como os instantes no cronômetro.

Determine a aceleração em cada caso.

a)



Resolução

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

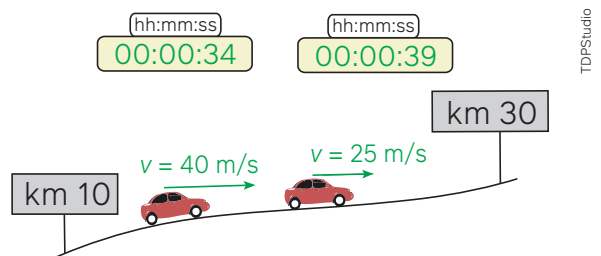
$$a = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0}$$

$$a = \frac{(+23) - (+17)}{22 - 16}$$

$$a = \frac{+6}{6}$$

$$\therefore a = +1 \text{ m/s}^2$$

b)



Resolução

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

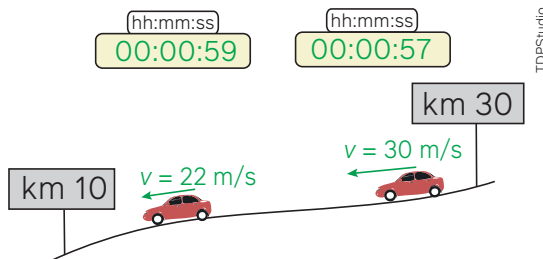
$$a = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0}$$

$$a = \frac{(+25) - (+40)}{39 - 34}$$

$$a = \frac{-15}{5}$$

$$\therefore a = -3 \text{ m/s}^2$$

c)



Resolução

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

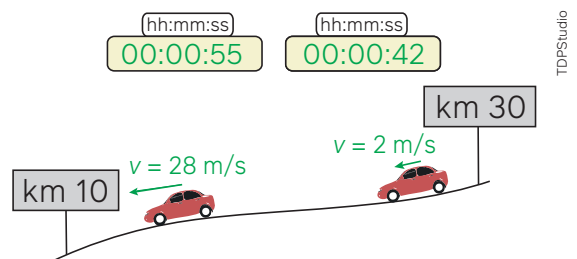
$$a = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0}$$

$$a = \frac{(-22) - (-30)}{59 - 57}$$

$$a = \frac{+8}{2}$$

$$\therefore a = +4 \text{ m/s}^2$$

d)



Resolução

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{v_f - v_0}{t_f - t_0}$$

$$a = \frac{(-2) - (-28)}{55 - 42}$$

$$a = \frac{-26}{13}$$

$$\therefore a = -2 \text{ m/s}^2$$

Se liga

Analisando a **Atividade Comentada 2** da página 33, temos que, às vezes, a aceleração é negativa e o carro está ficando cada vez mais rápido (item **d**); às vezes, a aceleração é positiva e o carro está freando (item **c**). O esquema ao lado resume a classificação dos movimentos:

Comparativo entre as classificações dos movimentos em função dos sentidos das grandezas velocidade e aceleração de acordo com o referencial adotado.

Velocidade positiva

$v(+)$

Movimento progressivo

Velocidade negativa

$v(-)$

Movimento retrógrado

Aceleração e velocidade de mesmos sinais

$v(+)$

$a(+)$

Movimento retardado

$v(-)$

$a(+)$

Aceleração e velocidade de sinais opostos

$v(+)$

$a(-)$

Movimento acelerado

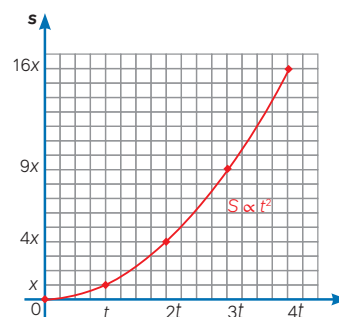
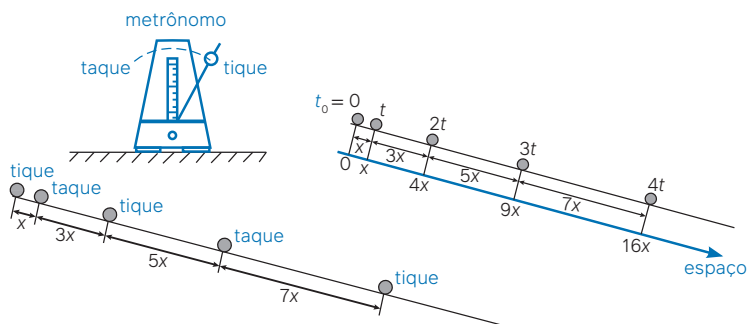
$v(-)$

$a(-)$

Oracric Art

Plano inclinado de Galileu e o surgimento da cinemática como conhecemos

A análise de movimentos nos quais a velocidade varia remonta aos tempos de Galileu Galilei. Um dos desafios de Galileu era entender o padrão do movimento de um corpo em várias situações. Uma das situações emblemáticas de Galileu era estudar o espaço e o tempo para um corpo descendo uma rampa.

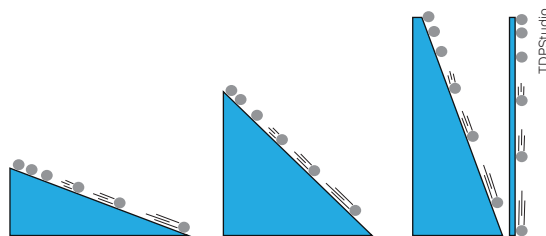


Ilustrações: TDPSStudio

Representação do plano inclinado de Galileu adaptado para uso com metrônomo: à esquerda, tique-taque de um metrônomo e distâncias entre as posições; ao centro, em um sistema de referências para o espaço, os pontos correspondentes; à direita, o padrão matemático do movimento uniformemente variado para um móvel que parte do repouso.

Originalmente, Galileu utilizou um relógio de água e sinos acoplados à rampa, mas podemos representar seu experimento utilizando um metrônomo musical, aparelho no qual um som de tique-taque se repete sempre em intervalos de tempo iguais. As distâncias de cada posição de um corpo que desce a rampa a partir do repouso são medidas (à esquerda); usando uma referência para o espaço, as posições são medidas (no centro); o comportamento do movimento é analisado graficamente (à direita); e observa-se que o espaço depende do quadrado do tempo quando um corpo possui aceleração constante em seu movimento.

Outra consequência que Galileu mostrou foi que, independentemente da inclinação da rampa, o padrão matemático de um movimento de descida é sempre o espaço sendo proporcional ao quadrado da passagem do tempo. Mesmo com uma rampa na vertical, ou seja, com um corpo em queda, esse padrão matemático se repete.



Diferentes inclinações de planos inclinados com diferentes valores de aceleração na direção do plano, mantendo o padrão numérico das distâncias percorridas em intervalos de tempo iguais.

TDPSStudio

#FicaADica

Introdução ilustrada à Física, de GONICK, L.; HUFFMAN, A. Traduzido e adaptado por MENEZES, L. C. de. Harbra, 1993. Abordando a Física com ilustrações simples, quase na forma de mangá, este livro ensina o que se precisa saber da física para entender muitos dos fenômenos do nosso dia a dia.



Editora Harbra

Equações do movimento uniformemente variado

Função horária das velocidades

Movimentos que mantêm a aceleração constante, como a queda de um corpo, um corpo descendo uma rampa, ou um veículo em que o motorista mantém o pedal do acelerador de modo que a velocidade aumente regularmente com o tempo, são chamados **movimentos uniformemente variados**, e podem ser descritos com um padrão matemático reconhecível. Vamos explorar esses padrões. Primeiro, podemos escrever a velocidade de um corpo como uma função do tempo:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\Delta v = a \Delta t$$

$$v - v_0 = a(t - t_0)$$

$$v = v_0 + a(t - 0)$$

$$v = v_0 + at$$

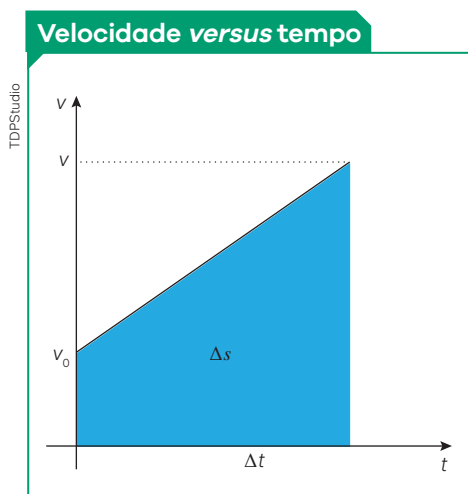
Esta é a **função horária das velocidades**, expressão que fornece a velocidade de um objeto em qualquer instante t , com aceleração constante a e velocidade inicial v_0 .

Se liga

Movimento variado tem aceleração. Movimento uniformemente variado tem aceleração constante.

Função horária do movimento uniformemente variado

A função horária das velocidades pode ser muito útil para descrever algumas situações, mas, mais do que isso, ela nos permite escrever uma outra função, que indica a posição de um móvel a cada instante. Para demonstrar, assumiremos que a área sob qualquer gráfico de velocidade em função do tempo indica o deslocamento do corpo:



$$A = \frac{(B+b)h}{2} \Rightarrow \Delta s = \frac{(v+v_0)\Delta t}{2} \Rightarrow \Delta s = \frac{[(v_0+at)+v_0]\Delta t}{2} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \Delta s = \frac{[2v_0+at](t-t_0)}{2} \Rightarrow \Delta s = \frac{2v_0t+at^2}{2} \Rightarrow \Delta s = \frac{2v_0t}{2} + \frac{at^2}{2} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \Delta s = v_0t + \frac{at^2}{2} \Rightarrow s - s_0 = v_0t + \frac{at^2}{2}$$

Logo:

$$s = s_0 + v_0t + \frac{at^2}{2}$$

À esquerda, gráfico da velocidade versus tempo para um movimento com aceleração constante, indicando a área sob a curva que corresponde ao deslocamento escalar de um móvel; à direita, demonstração da função horária do movimento uniformemente variado, a partir da área sob a curva do gráfico.

Na **função horária do movimento uniformemente variado**, posição inicial (s_0), velocidade inicial (v_0) e aceleração (a) são valores constantes ao longo de todo o movimento, enquanto o espaço (s) varia em função do tempo (t).

constantes $s = s_0 + v_0t + \frac{at^2}{2}$

variáveis $s = s_0 + v_0t + \frac{at^2}{2}$

Equação de Torricelli

Em algumas situações de movimentos uniformemente variados, é necessário avaliarmos os deslocamentos em função das velocidades, pois pode ser que não se tenha informações sobre a duração do movimento. Essa relação recebe o nome de equação de Torricelli, em homenagem ao cientista italiano Evangelista Torricelli (1608-1647). Para encontrar a relação entre o deslocamento, as velocidades inicial e final, e a aceleração de um corpo, é necessário demonstrá-la.

$$v = v_0 + at \Rightarrow t = \frac{v - v_0}{a}$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \Rightarrow \Delta s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Combinando as equações:

$$\Delta s = v_0 \left(\frac{v - v_0}{a} \right) + \frac{a}{2} \left(\frac{v - v_0}{a} \right)^2 \Rightarrow \Delta s = \left(\frac{v v_0 - v_0^2}{a} \right) + \frac{a}{2} \left(\frac{v^2 - 2v v_0 + v_0^2}{a^2} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta s = \frac{v v_0 - v_0^2}{a} + \frac{a}{2} \cdot \frac{v^2 - 2v v_0 + v_0^2}{a^2} \Rightarrow \Delta s = \frac{v v_0 - v_0^2}{a} + \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2 - 2v v_0 + v_0^2}{a} \Rightarrow$$

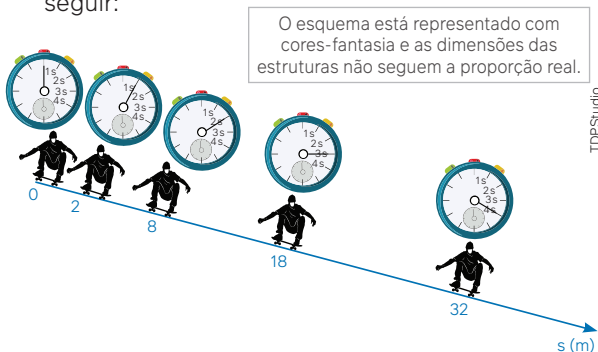
$$\Rightarrow \Delta s = \frac{2v v_0 - 2v_0^2}{2a} + \frac{v^2 - 2v v_0 + v_0^2}{2a} \Rightarrow \Delta s = \frac{2v v_0 - 2v_0^2 + v^2 - 2v v_0 + v_0^2}{2a} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta s = \frac{-2v_0^2 + v^2 + v_0^2}{2a} \Rightarrow 2a \Delta s = -v_0^2 + v^2$$

Logo: $v^2 = v_0^2 + 2a \Delta s$

Atividades comentadas

1. Numa competição de aventura, um *skatista* desce uma rampa a partir do repouso, tendo suas posições em função do tempo indicadas na figura a seguir:



- a) Determine a aceleração do *skatista*.
b) Determine a velocidade no instante $t = 4$ s.

Resolução

- a) As velocidades não são dadas neste problema, então, é necessária equação geral da cinemática, na qual se tem a aceleração em uma função que envolve espaço e tempo.

Em $t = 2$ s, $s = 8$ m, logo,

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad a = \frac{2s}{t^2}$$

$$s = 0 + 0t + \frac{at^2}{2} \quad a = \frac{2 \cdot 8}{2^2}$$

$$s = \frac{at^2}{2} \quad a = 4 \text{ m/s}^2$$

- b)

$$v = v_0 + at$$

$$v = 0 + 4t$$

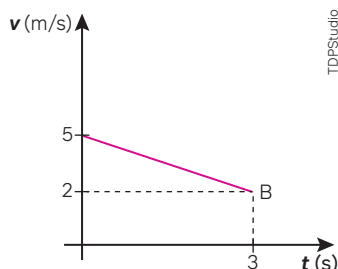
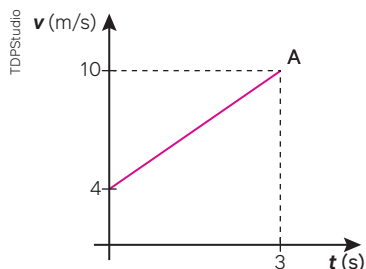
$$v = 4 \cdot 4$$

$$\therefore v = 16 \text{ m/s}$$

Atividades propostas



1. Os movimentos de dois carros, **A** e **B**, são descritos nos gráficos a seguir.



Determine:

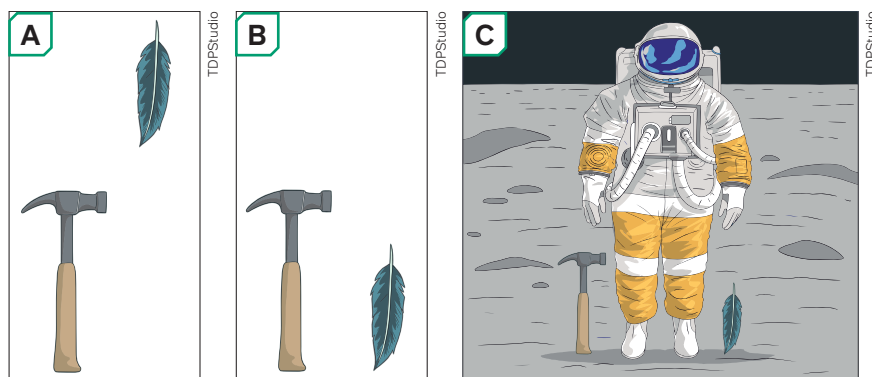
- a) a aceleração dos dois veículos.
b) a distância que ambos percorreram até o instante $t = 3$ s.
c) a função horária dos dois movimentos, considerando que ambos partiram da posição inicial $s_0 = 4$ m.

2. Um atleta parte do repouso e corre, acelerando 2 m/s^2 . Quantos metros são necessários percorrer para atingir a velocidade de 5 m/s ?
3. As autoridades de trânsito recomendam que, para que se tenha segurança, motoristas mantenham uma “distância de 2 s” em relação a um carro à sua frente. Sabe-se que “2 s” são uma medida de tempo, e não de distância, mas sabemos também que essa orientação visa informar, de maneira simples de lembrar que, quando freia um carro, sua velocidade não se torna nula instantaneamente. Suponha que um carro esteja a 20 m/s em uma estrada e, de repente, o motorista precisa frear. Se a desaceleração do carro for 1 m/s^2 , que distância percorrerá em 2 s?
4. A velocidade de um atleta durante uma corrida de 100 m aumenta de forma constante até o instante t_1 , permanece constante entre t_1 e t_2 , e diminui após t_2 até cruzar a linha de chegada. Durante a corrida, a aceleração do atleta foi:
 - a) sempre positiva.
 - b) negativa apenas entre os instantes $t = 0 \text{ s}$ e t_1 .
 - c) negativa apenas entre os instantes t_1 e t_2 .
 - d) sempre nula.
 - e) positiva apenas entre os instantes $t = 0 \text{ s}$ e t_1 .

Movimento vertical livre

Em 1971, durante a missão lunar Apolo 15, o astronauta David Scott demonstrou, na Lua, que, não havendo resistência do ar, uma pena e um martelo chegam juntos ao solo se forem abandonados de uma mesma altura. O vídeo do astronauta está disponível no *site* da agência espacial norte americana, a NASA.

Se uma pena qualquer e um martelo comum forem abandonados de uma carteira na sua sala de aula, eles não levarão o mesmo tempo para cair ao solo: a pena demorará mais para tocar o solo. A diferença entre o experimento feito pelo astronauta e o mesmo experimento feito na sala de aula ocorre porque um é feito na Lua e outro na Terra. O que ocorre é que, aqui na Terra, o ar imprime uma grande resistência ao movimento da pena, que é muito leve, mas não imprime resistência ao movimento do martelo, que é mais pesado.



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Fonte: OPENSTAKS. *University Physics Volume 1: Free Fall*. [S. l.]: Rice University, c1994-2024. Disponível em: <https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-5-free-fall>. Acesso em: 15 maio 2024.

Representação do experimento da pena e do martelo. Em (A), representa-se uma queda em presença de ar. Em (B), representa-se a queda sem a resistência do ar, segundo a previsão de Galileu. Em (C), representa-se a experiência levada adiante por David Scott, confirmando a previsão de Galileu.

Por causa da resistência do ar, podemos concluir, erroneamente, que corpos mais pesados sempre caem mais rapidamente do que corpos mais leves. Apesar disso, qualquer corpo que estiver em movimento de queda ou que for arremessado verticalmente, se não houver resistência do ar, estará sujeito à mesma aceleração: a **aceleração da gravidade** (g). Isso ocorre porque a gravidade terrestre atrai os corpos para o centro do planeta. Nas proximidades da superfície da Terra, a aceleração da gravidade tem valor $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$, e qualquer corpo em movimento vertical livre, sem resistência do ar, terá essa mesma aceleração g . Na análise de situações que envolvem a aceleração da gravidade, é comum que se utilize $g \approx 10 \text{ m/s}^2$, para efeito de simplificação.

A definição de um referencial para o estudo de queda livre

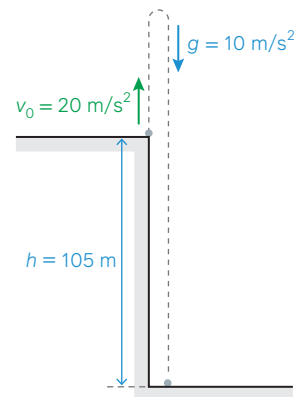
Do ponto de vista aritmético, o valor de g pode ser positivo ou negativo nas equações da cinemática. Isso dependerá do referencial adotado. Adotar um referencial é como colar uma régua ao lado da situação, assim, tudo no contexto estudado será medido nessa régua. Duas decisões serão necessárias ao adotar um referencial para estudo de um movimento: onde está o “zero” desse referencial e para que lado as medidas são positivas.

Atividades comentadas

1. Um corpo é lançado para cima, com velocidade inicial de 20 m/s, do alto de um prédio de 105 m de altura, em um local onde a aceleração da gravidade é $g = 10 \text{ m/s}^2$. O corpo sobe, de modo que, no ponto mais alto, sua velocidade é nula, e, depois, desce até chegar ao solo.

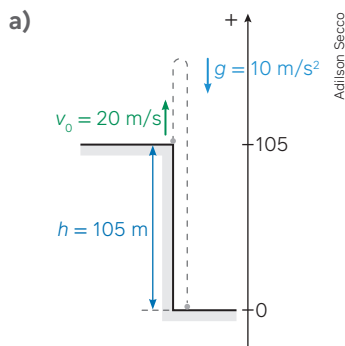
Escreva as equações horárias das velocidades e das posições para o movimento desse corpo, com base nos seguintes referenciais:

- um referencial com a posição zero no solo e orientado para cima.
- um referencial com a posição zero no topo do prédio e orientado para baixo.
- um referencial com a posição zero na metade da altura do solo e orientado para baixo.



Resolução

Se a utilização dos diferentes referenciais for feita corretamente, teremos o mesmo resultado em todos os casos. Mudar o referencial mudará a posição inicial, mudará os sinais das grandezas, mas não mudará o tempo total de voo.



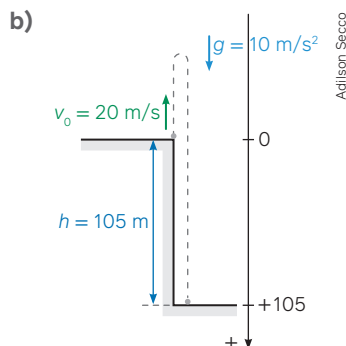
$$v = v_0 + at$$

$$v = +20 - 10t$$

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2$$

$$s = 105 + (+20)t + \frac{(-10)}{2} t^2$$

$$s = 105 + 20t - 5t^2$$



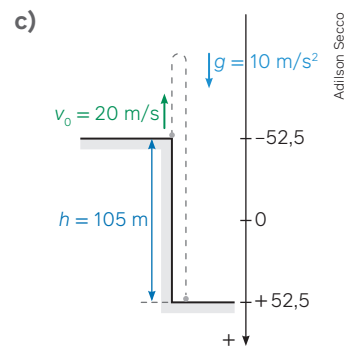
$$v = v_0 + at$$

$$v = -20 + 10t$$

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2$$

$$s = 0 + (-20)t + \frac{(+10)}{2} t^2$$

$$s = -20t + 5t^2$$



$$v = v_0 + at$$

$$v = -20 + 10t$$

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2$$

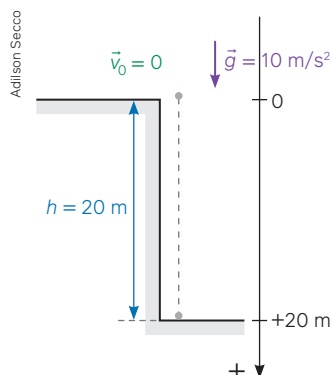
$$s = -52,5 + (-20)t + \frac{(+10)}{2} t^2$$

$$s = -52,5 - 20t + 5t^2$$

2. Determine o tempo de queda para um corpo abandonado a partir do repouso de uma altura de 25 m. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Resolução

• Adotando um referencial com o zero, posicionado onde o corpo inicia a queda e orientado positivamente para baixo:



$$s = 0 + 0t + \frac{10}{2} t^2 \Rightarrow s = 5t^2$$

$$20 = 5t^2 \Rightarrow 4 = t^2 \therefore t = 2 \text{ s}$$

Atividades propostas



- (UFRJ) Um corpo em queda livre percorre uma certa distância vertical em 2 s; logo, a distância percorrida em 6 s será
 - dupla.
 - tripla.
 - seis vezes maior.
 - nove vezes maior.
 - doze vezes maior.
- Dois corpos, **A** e **B**, que têm massas $m_A = \frac{1}{2}m_B$, são lançados verticalmente para cima, a partir de um mesmo ponto, com velocidades iniciais iguais. Sem considerarmos a ação do ar, podemos afirmar que:
 - A** leva menos tempo para subir.
 - A** atinge uma altura maior do que **B**.
 - A** retorna ao ponto de partida antes de **B**.
 - ambos chegam à mesma altura.
 - ambos descem mais rapidamente do que subiram.

Ciência por dentro



Aceleração da gravidade terrestre calculada com auxílio de um cronômetro acústico

Nesta investigação, o valor aproximado da aceleração da gravidade terrestre será calculado experimentalmente em sala de aula utilizando um cronômetro acústico, que dispara o relógio para a contagem a partir do som.

Material:

- régua ou fita métrica;
- mesa ou outra superfície elevada;
- esfera de metal;
- aparelho celular;
- aplicativo de cronômetro acústico instalado no celular.

Procedimento

- Meça a altura (h) da mesa ou superfície elevada. Anote esse valor em seu caderno. Em seguida, posicione a esfera exatamente na altura medida, conforme a representação esquemática.
- Solte a esfera verticalmente. Simultaneamente, bata na mesa com a mão (ou com uma caneta) para disparar o cronômetro acústico, que começará a contar o tempo de queda (t).
- O cronômetro irá parar automaticamente quando detectar o som do impacto da esfera com o solo. Anote o tempo registrado em seu caderno.
- Utilizando a equação do movimento uniformemente variado (MUV) para o movimento de queda livre, teremos:

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{a}{2} t^2 \Rightarrow h = 0 + 0 \cdot t + \frac{g}{2} t^2 \Rightarrow g = \frac{2h}{t^2}$$

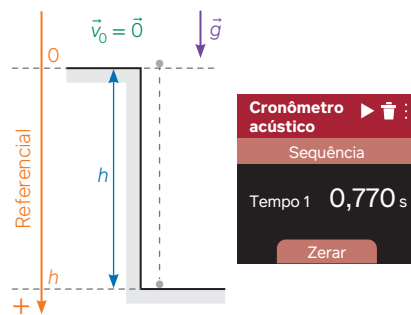
Assim, obtemos uma equação que relaciona três variáveis: a altura da queda (h), o tempo da queda (t) e a aceleração da gravidade (g). Com isso, obtendo-se h e t , podemos determinar o valor de g . Calcule o valor de g .

- Repita o experimento mais cinco vezes, soltando a esfera de cinco alturas diferentes. A cada vez, meça a altura e o tempo de queda da esfera, seguindo exatamente o mesmo procedimento de medição e cálculo descritos anteriormente.
- Calcule o valor médio dos resultados encontrados para g . Tome nota dos resultados.

Trocando ideias



- Por que obtemos o mesmo valor aproximado de g independentemente da altura de onde a bolinha é abandonada?
- Vimos que a equação geral da cinemática é válida para queda livre, no entanto, em sala de aula, temos a resistência do ar. A queda com resistência do ar nos fará encontrar um valor menor ou maior para g ?
- Desenhe em seu caderno e apresente para seus colegas uma relação gráfica entre altura, tempo e aceleração da gravidade, defendendo a validade do modelo matemático da queda livre com base em suas evidências.

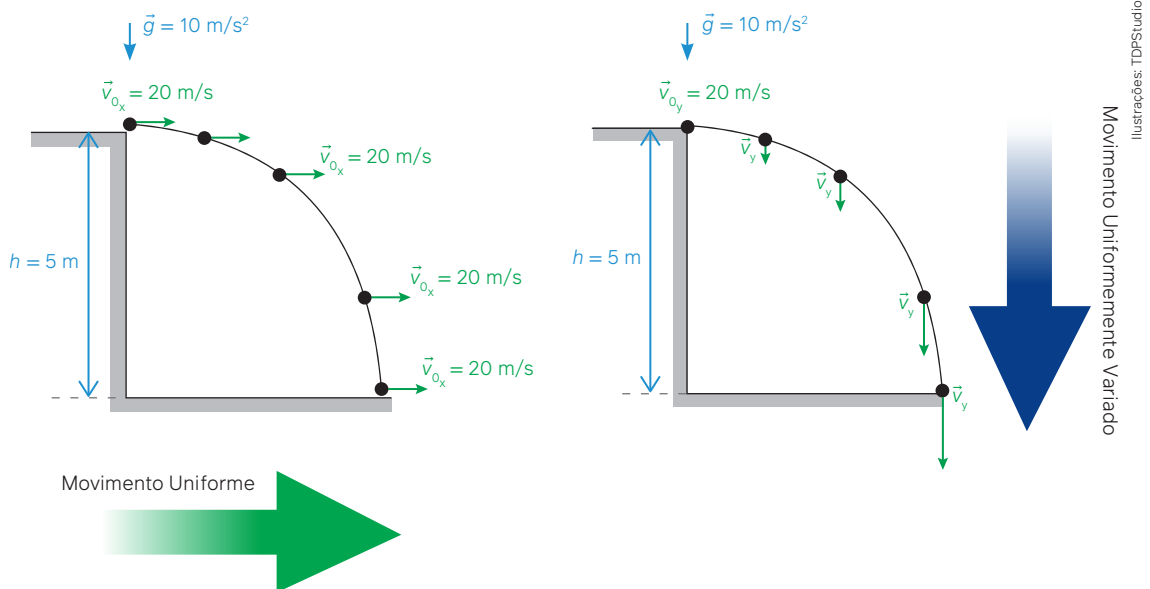


Esquemática experimental de um corpo em queda livre e um cronômetro acústico medindo o tempo de queda até que o corpo toque o solo.

Ilustrações: Adilson Secco

Movimentos em duas dimensões e independência das direções perpendiculares entre si

Podemos avaliar um lançamento horizontal de um corpo (e mesmo outros lançamentos) a partir da independência das dimensões do movimento. Quando um corpo é lançado horizontalmente, seu movimento horizontal ocorre de maneira independente de seu movimento vertical. Vamos considerar um corpo lançado horizontalmente para a direita, com velocidade de 20 m/s, do telhado de uma casa de 5 m de altura. Quanto tempo demora para esse corpo tocar o solo? A que distância do telhado ele cairá? Para responder a essas perguntas, podemos avaliar o movimento horizontal separadamente do movimento vertical.



Representação de um lançamento horizontal com indicação das direções horizontal e vertical, indicando as dimensões x e y de modo independente. À esquerda, a velocidade de 20 m/s do exemplo proposto se mantém sempre a mesma; à direita, a velocidade vertical aumenta a cada instante devido à ação da aceleração da gravidade.

Dois movimentos que sejam perpendiculares entre si são chamados de **linearmente independentes**. Isso significa que são movimentos que ocorrem simultaneamente, mas de maneira independente. Se a velocidade inicial está na horizontal (eixo x) e a única aceleração que age é a aceleração da gravidade (eixo y), teremos um movimento sem aceleração no eixo x , mas com aceleração no eixo y .

Podemos usar o movimento com aceleração em y para calcularmos o tempo de queda:

$$y = y_0 + v_{oy}t + a_y \frac{t^2}{2}$$

Utilizando um referencial orientado positivamente para baixo, com o zero no início do movimento:

$$5 = 0 + 0t + 10 \frac{t^2}{2}$$

$$t = 1 \text{ s}$$

Então, usamos esse mesmo tempo para calcularmos a distância deslocada na direção x , na qual a velocidade é constante:

$$x = x_0 + v_x t$$

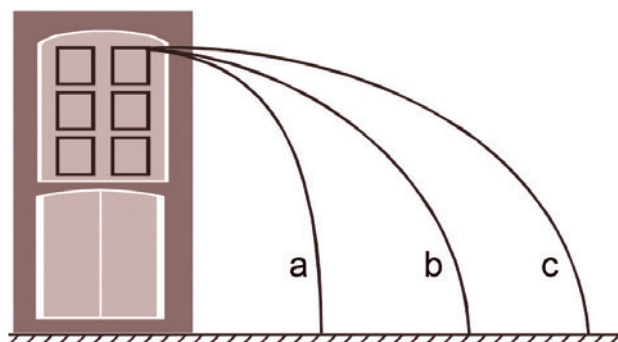
$$x = 0 + 20(1)$$

$$x = 20 \text{ m}$$

Outros movimentos que ocorram em duas dimensões se valem da mesma ideia: cada direção perpendicular tem seu movimento independente da outra.



1. (CEFET-MG – 2006) Três pedras são atiradas horizontalmente, do alto de um edifício, tendo suas trajetórias representadas a seguir.



CEFET-MG, 2006

Admitindo-se a resistência do ar desprezível, é correto afirmar que, durante a queda, as pedras possuem

- acelerações diferentes.
 - tempos de queda diferentes.
 - componentes horizontais das velocidades constantes.
 - componentes verticais das velocidades diferentes, a uma mesma altura.
2. (PUC-RJ – 2009) Um pacote do correio é deixado cair de um avião que voa horizontalmente com velocidade constante. Podemos afirmar que (desprezando a resistência do ar):
- um observador no avião e um observador em repouso no solo veem apenas o movimento vertical do objeto.
 - um observador no avião e um observador em repouso no solo veem apenas o movimento horizontal do objeto.
 - um observador no solo vê apenas um movimento vertical do objeto, enquanto um observador no avião vê o movimento horizontal e vertical.
 - um observador no solo vê apenas um movimento horizontal do objeto, enquanto um observador no avião vê apenas um movimento vertical.
 - um observador no solo vê um movimento horizontal e vertical do objeto, enquanto um observador no avião vê apenas um movimento vertical.



Vídeo

A Física por trás da direção segura

Recapitule

Neste capítulo, aprendemos a representar graficamente os movimentos uniformes e variados. Retomamos o experimento histórico do plano inclinado de Galileu e vimos como se verifica o padrão matemático dos movimentos uniformemente variados.

Retome as questões que constam na abertura do capítulo, no box **Para refletir**. Com base no que você aprendeu, como responderia a essas questões? Você alteraria alguma resposta?

Mapa mental

Faça, em seu caderno, um mapa mental relacionando a maior quantidade de conceitos aprendidos neste capítulo que você conseguir. Fique livre pra incluir desenhos, gráficos, equações, palavras-chave e tudo mais que você entenda ser importante para recapitular os padrões matemáticos dos movimentos.

Desafie-se a responder:

- O que cai mais rápido, uma pena ou um martelo? E se ambos estiverem no vácuo?
- Se um móvel estiver se deslocando para frente e uma pessoa o empurrar para a direita com aceleração constante, como será seu movimento?

Ação das forças e dinâmica dos movimentos



Lars Baron/Getty Images/Europe/Getty Images



avid_creative/Stockphoto.com

À esquerda, a brasileira Amanda Schott, atleta de levantamento de peso, durante os Jogos Olímpicos de Paris 2024, França. Ao lado, uma formiga carrega uma folha.

▼ Para refletir

1. Quem é mais forte, um ser humano ou uma formiga?
2. Como não é possível visualizar diretamente as forças, o que nos garante que elas estão atuando em um corpo?
3. Um passageiro dentro de um avião em voo pode não sofrer a ação de nenhuma força resultante?

Objetivos do capítulo

- Conhecer o conceito de força.
- Utilizar representações vetoriais para visualizar e operar situações em que mais de uma força atue.
- Interpretar situações cotidianas à luz do princípio da inércia.
- Analisar a dinâmica de situações reais por meio da relação entre mudanças no estado do movimento e a ação de forças resultantes.
- Reconhecer pares de ação e reação.
- Aplicar o conceito de equilíbrio de ponto material para resolver situações-problema.

Noção de força

Quando observamos um fenômeno na natureza, não podemos visualizar as forças ou identificá-las diretamente, mas conseguimos avaliar sua presença caso ocorram mudanças nos movimentos ou deformações. Em alguns casos, inferimos a presença de uma força pelo estado de equilíbrio de um corpo.

Em Física, força é uma influência capaz de modificar o movimento dos corpos, produzir deformações ou promover o equilíbrio. As forças são medidas em newton (N), conforme o Sistema Internacional de Unidades, e utiliza-se um instrumento chamado dinamômetro para sua medição.



Este modelo de dinamômetro mede a força de tração em função da deformação de uma mola presa a um ponteiro, que indica o valor em uma escala.

As forças têm orientações (podem ser para uma direção ou para outra) e ocorrem pela ação de campos (como a gravidade, o magnetismo, entre outros) ou pela ação de contato (como a força de atrito, a força de uma corda, entre outras).

Saiba mais

Interações de campo

Na Mecânica Clássica, forças de campo são diferenciadas de forças de contato. Essa distinção será suficiente para os estudos das situações deste capítulo, no entanto, quando se estuda níveis subatômicos em Física Contemporânea, há somente interações de campo! Elas se dividem em quatro classes, conforme o esquema a seguir:

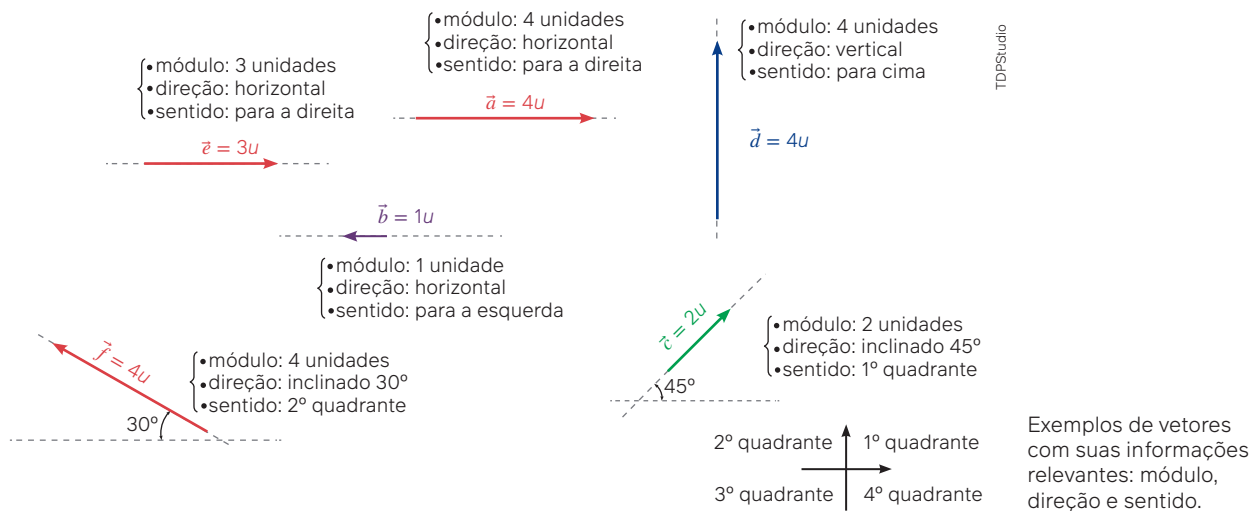


MOREIRA, M. O modelo padrão da Física de Partículas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 1306-1311, 2009. Adaptado. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/sMFh5cP7J9S8RzcXGsmV3fR/?lang=pt#>. Acesso em: 31 ago. 2024.

Representando forças

Quando representamos forças, utilizamos setas que apontam para alguma direção em algum sentido. Isso é necessário para que representemos não apenas forças, mas também outras grandezas físicas que dependem de um direcionamento, como acelerações, impulsos, entre outras. Grandezas que dependem desse tipo de representação são chamadas de **grandezas vetoriais**. Grandezas que não dependem de direcionamento, como o tempo e a temperatura, que são representadas somente por seu valor e sua unidade, são chamadas de **grandezas escalares**.

Três informações caracterizam um vetor: o módulo, valor numérico que representa (em unidades) o tamanho do vetor e da grandeza; a direção, indicando não a seta em si, mas a reta suporte do vetor (horizontal, vertical e inclinada); e o sentido, esse sim indicando a orientação (direita ou esquerda, para cima ou para baixo etc.).



Para somar vetores, é necessário um processo geométrico (que é diferente de apenas somar números). Ao somar dois vetores, devemos encaixar um vetor no outro e desenhar o segmento de reta que começa na origem do primeiro e termina na extremidade do último. Só assim é possível conhecer o módulo (valor) do vetor resultante. Isso significa que, para vetores de mesma direção e sentido, o módulo dessa soma é a soma de seus módulos, e, quando os sentidos são opostos, o módulo da soma dos vetores é a subtração de seus módulos.

Ao somar vetores que não estão na mesma direção, continuamos seguindo a ideia de que um vetor deve ser encaixado no outro, para então desenharmos o vetor resultante desde a origem do primeiro até a extremidade do último. O módulo do vetor resultante pode ser obtido por meio de relações geométricas.

Atividades comentadas

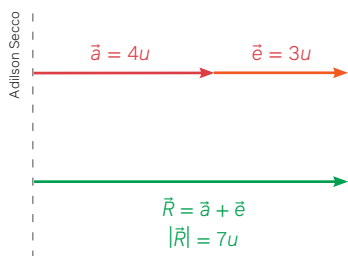
1. Considere os mesmos vetores apresentados na figura anterior. Desenhe, em seu caderno, como ficariam os vetores resultantes a seguir. Indique também seus módulos.

a) $\vec{a} + \vec{e}$, que estão no mesmo sentido.

b) $\vec{a} + \vec{b}$, que estão em sentidos opostos.

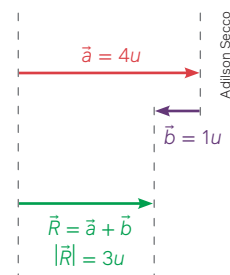
Resolução

a) $\vec{a} + \vec{e}$



Mesmo sentido, somam-se os módulos.

b) $\vec{a} + \vec{b}$



Sentidos opostos, subtraem-se os módulos.

2. Considerando os vetores da figura da página anterior, determine o módulo, a direção e o sentido da soma vetorial $\vec{d} + \vec{e}$.

Resolução

$$|\vec{R}|^2 = |\vec{d}|^2 + |\vec{e}|^2$$

$$|\vec{R}|^2 = 4^2 + 3^2$$

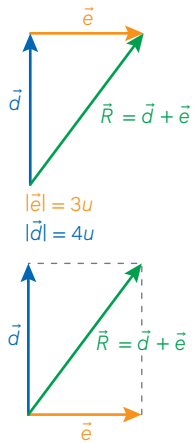
$$|\vec{R}|^2 = 16 + 9$$

$$|\vec{R}|^2 = 25$$

$$|\vec{R}| = \sqrt{25}$$

$$|\vec{R}| = 5 u$$

Outra forma correta:



3. Ainda considerando os vetores da figura anterior, determine o módulo, a direção e o sentido da soma $\vec{c} + \vec{d}$.

Resolução

$$R^2 = d^2 + c^2 + 2dc \cos\theta$$

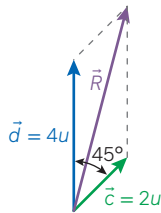
$$R^2 = 4^2 + 2^2 + 2 \cdot 4 \cdot 2 \cos 45^\circ$$

$$R^2 = 16 + 4 + 16 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

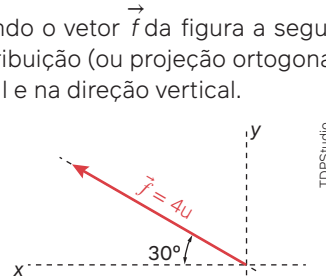
$$R^2 = 20 + 8\sqrt{2}$$

$$R = \sqrt{20 + 8\sqrt{2}}$$

$$R = \sqrt{5 + 2\sqrt{2}} u$$

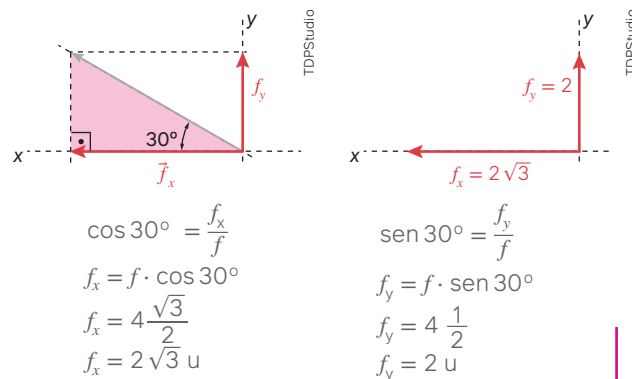


4. Observando o vetor \vec{f} da figura a seguir, determine sua contribuição (ou projeção ortogonal) na direção horizontal e na direção vertical.



Resolução

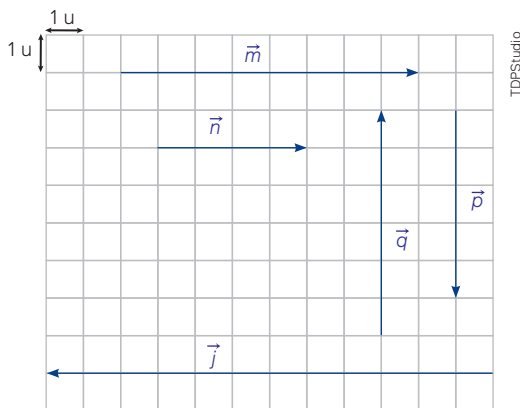
A decomposição de um vetor em projeções ortogonais é muito útil para operarmos situações com vetores inclinados. Esse processo consiste em projetar uma "sombra" perpendicular do vetor nos eixos coordenados e usar relações trigonométricas para obter os valores dos módulos dessas projeções, como demonstrado a seguir.



Atividades propostas



1. Na figura abaixo, os lados de cada quadrado medem uma unidade, e cinco vetores são apresentados.



Determine módulo, direção e sentido do vetor resultante em cada caso.

- $\vec{m} + \vec{n}$
- $\vec{q} + \vec{p}$
- $2\vec{p} - \vec{q}$
- $\vec{m} + \vec{q}$
- $\vec{j} + \vec{p}$

- Calcule a resultante da soma de dois vetores de módulos iguais a 30 u e 40 u que formam 60° entre si.
- Um vetor k representa uma força de 50 N e está inclinado 53° ($\cos 53^\circ = 0,6$; $\sin 53^\circ = 0,8$) em relação à horizontal, com sentido apontando o quarto quadrante de um plano cartesiano. Determine a intensidade dessa força na direção horizontal.

#FicaADica

Adição de vetores. Simulador computacional para investigar graficamente soma, subtração, componentes e resultantes de vetores. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/vector-addition?locale=pt_BR. Acesso em: 31 ago 2024.



Força e movimento com uma torre de blocos

Nesta atividade prática, você e sua equipe enfrentam uma situação-problema desafiadora: remover cartões de uma torre de blocos de madeira sem derrubar nenhum. Vocês precisam organizar a solução do problema considerando a lógica envolvida no desafio. Esse processo, chamado de **pensamento computacional**, pode ser aplicado em outras situações. A resolução desse problema fornece dados que servem de evidência da relação entre força e movimento em um sistema de corpos.

Material:

- 10 blocos de madeira iguais;
- 10 barbantes de 15 cm de comprimento cada;
- 10 cartões de papel com tamanho suficiente para cobrir a largura dos blocos.

Procedimento

1. Façam um pequeno furo em uma das extremidades de cada cartão.
2. Passem o barbante pelo furo, dando um nó. Certifiquem-se de o cartão não seja dobrado durante o processo.
3. Empilhem os blocos de madeira intercalados com os cartões, de forma que fique um cartão entre cada bloco. Os cartões devem ser ajustados de modo que as pontas com barbante fiquem voltadas para direções diferentes, facilitando a remoção, conforme indicado na figura ao lado.
4. Iniciem a atividade com um dos membros da equipe tentando remover o primeiro cartão.
5. Caso os blocos caiam, empilhem as peças novamente e passem a vez para o próximo membro do grupo.
6. Após a tentativa de cada integrante, todos devem remover os cartões simultaneamente.



Dotia

Arranjo experimental com blocos e cartões intercalados.

A resolução de problemas por pensamento computacional pode seguir algumas etapas de construção lógica, indicadas a seguir.

Abstração: ao abstrairmos uma situação, consideramos uma ação, mesmo que imaginária. Por isso, antes de puxar um dos fios, tente imaginar o que aconteceria caso cada um deles fosse escolhido. Converse com seus colegas sobre outras situações semelhantes que você já vivenciou.

Decomposição: é possível começar avaliando o que aconteceria se apenas um cartão de uma única camada de blocos da torre fosse removido. Identifique uma camada na torre e planeje como fazer a remoção sem causar a queda dos blocos. Para a sexta etapa do procedimento, crie com a equipe uma estratégia para sincronizar os movimentos, tornando a remoção dos cartões mais eficiente.

Reconhecimento de padrões: se mais de uma tentativa for feita, o que percebemos em todas elas? Há algum padrão? Que padrão é esse? Os movimentos são sempre iguais? Puxar o barbante em diferentes camadas gera o mesmo efeito?

Elaboração de algoritmo: com base nos passos anteriores, proponha uma "lei geral" da remoção dos cartões. Descreva a sequência de eventos e os padrões identificados. No caso da atividade, esse é um algoritmo geral para a remoção de cartões em qualquer camada da torre.

Trocando ideias



1. Para manter a torre de blocos e cartões em pé, foi mais adequado puxar os cartões:
 - a) mais próximos do topo ou mais próximos da base?
 - b) com mais força ou menos força?
 - c) na horizontal ou com leve inclinação para cima ou para baixo?
2. As respostas a essas perguntas são evidências do que você constatou durante o processo de puxar os cartões. Com base nas suas conclusões, proponha hipóteses que justifiquem os fenômenos observados.
3. Se, no lugar do papel, fosse utilizada uma folha de lixa, a retirada dos cartões seria mais fácil ou mais difícil? Justifique.

Princípios da Dinâmica

Inércia

Faça um experimento rápido: sentado em sua cadeira, levante os pés e tente mover a cadeira sem se balançar nem encostar no chão ou em outro corpo. Você perceberá que não é possível mover a cadeira encostando somente nela.

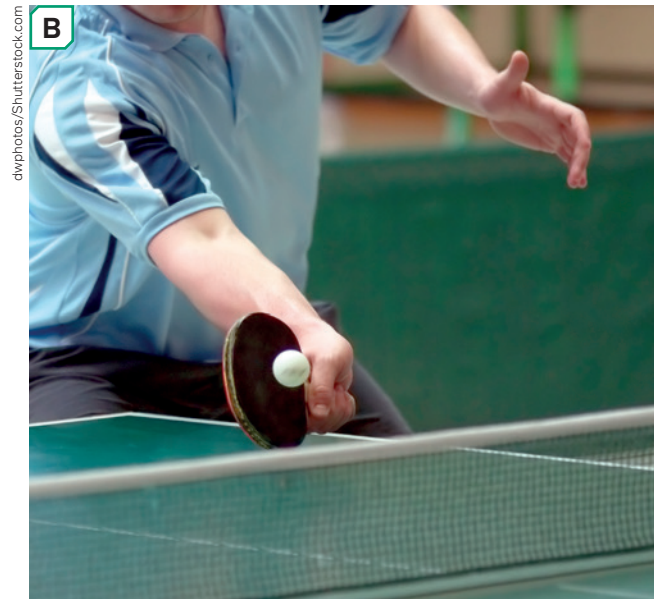
Tente outro experimento: peça a um motorista, em um carro desligado, tentar fazer o veículo se mover, empurrando o volante. Isso não é possível! As mudanças de movimento só ocorrem quando uma **força externa** atua sobre um corpo. Caso saia do carro estacionado para empurrá-lo, talvez você consiga mudar o estado de movimento do veículo, mas, dentro dele, não.

Esse é o chamado princípio da inércia: somente a ação de forças externas pode mudar o estado de movimento de um corpo. O princípio da inércia é conhecido como **primeira lei de Newton**, em referência a Isaac Newton, que descreveu:

Um corpo em repouso ou em movimento retilíneo uniforme tende a manter seu estado, a menos que uma força resultante externa atue sobre ele.

A inércia de um corpo pode ser indicada pelo valor da massa desse corpo em quilogramas (kg), conforme o Sistema Internacional de Unidades. Quanto maior a massa de um corpo, mais difícil é modificar seu estado de movimento.

Observando as imagens, é possível inferir que a força necessária para tirar uma bolinha de pingue-pongue do repouso e levá-la à velocidade de 1 m/s é muito menor que a força necessária para tirar um navio do repouso e levá-lo à velocidade de 1 m/s. Isso significa que a inércia do navio é muito maior que a inércia da bolinha de pingue-pongue.



O navio da imagem (A) necessita de dois rebocadores para modificar seu movimento, mas o tenista de mesa (B) altera o movimento da bolinha com um pequeno toque.

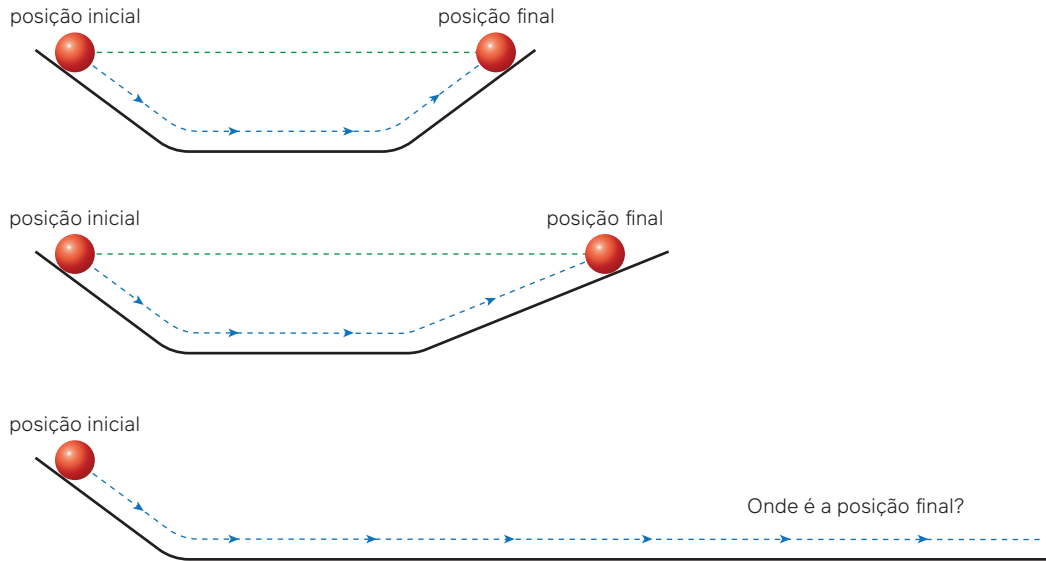
Evolução do conceito de inércia

Todos os filósofos naturais da Antiguidade se preocuparam com a questão do movimento, notadamente sobre o que fazia nascer ou mitigar o movimento nos corpos. Aparentemente, era necessário agir sobre um objeto de alguma forma, aplicando empurrões ou puxões, no entanto, não era claro se o movimento se mantinha ao cessar essa ação.

Quando Aristóteles estudou o problema do movimento, classificou-o em **natural** (devidos à natureza dos “átomos” que compunham o objeto – vamos lembrar que o atomismo era uma corrente filosófica em voga desde cem anos antes do nascimento de Aristóteles) e **violento** (impostos por puxões ou empurrões causados por agentes externos). O estado natural de todos os objetos próximos à superfície da Terra, sem um agente motor, seria o de repouso, exceto para os corpos celestes. As afirmações de Aristóteles eram baseadas em observações do mundo **real**, sem experimentação.

Galileu discutiu as tendências de movimento e a origem das acelerações e desacelerações em situações **ideais**, em experimentos e em forma de conversa, na obra *Diálogo sobre os dois principais sistemas do mundo*.

Uma variação dos experimentos com planos inclinados era fazer esferas muito polidas rolar sobre pavimentos lisos, para reduzir o efeito do atrito. Ele sabia que, na subida, a velocidade dos corpos diminuía, e, na descida, a velocidade aumentava. Se, no lugar do pavimento, as esferas rolavam sobre calhas lisas, elas alcançavam praticamente a mesma altura do outro lado, realizando movimento aproximadamente uniforme no trecho horizontal. E se não houvesse a parte final, de subida, onde a esfera iria parar?



Representação esquemática do experimento com planos inclinados propostos por Galileu.

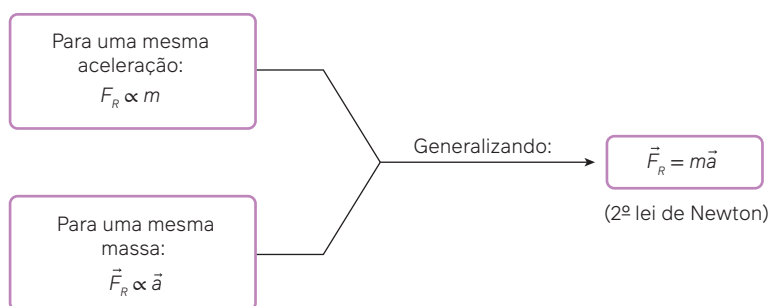
As explicações de Aristóteles se adequavam muito mais a um mundo real, no entanto, havia os argumentos contrários aos seus estudos, arrolados na Idade Média. Os experimentos de Galileu Galilei apontavam para o fato de que, além de permanecerem em repouso, corpos se movem por simples continuidade de seu movimento. A descrição dos movimentos foi aprimorada e documentada por René Descartes, que também contribuiu para a construção do conceito de **inércia**.

Relação entre inércia e aceleração

Comparando um navio e uma bolinha de pingue-pongue, podemos pensar na proporcionalidade entre a força necessária para mudar o movimento nos dois casos. Se a massa do navio for mil vezes a massa da bolinha, a força necessária para acelerar o navio do repouso até a velocidade de 1 m/s será mil vezes maior para o navio. Isso indica que corpos com inércia maior precisam de mais força para sofrer a mesma aceleração que corpos de inércia menor.

Por outro lado, se alguém quiser acelerar um corpo do repouso até a velocidade de 1 m/s em 10 segundos, usando uma força F , precisará de uma força $2F$ para acelerá-lo do repouso até 2 m/s no mesmo tempo. Isso indica que, para uma mesma massa (cuja medida é sempre a mesma da inércia), quanto maior a força resultante aplicada, maior é a alteração do movimento e a aceleração desse corpo.

Essas relações entre força resultante, massa e aceleração têm muitas implicações na Física. Elas indicam, por exemplo, uma lei da dinâmica dos movimentos, que chamamos de **segunda lei de Newton**. As proporcionalidades que levam a essa lei estão esquematizadas a seguir.

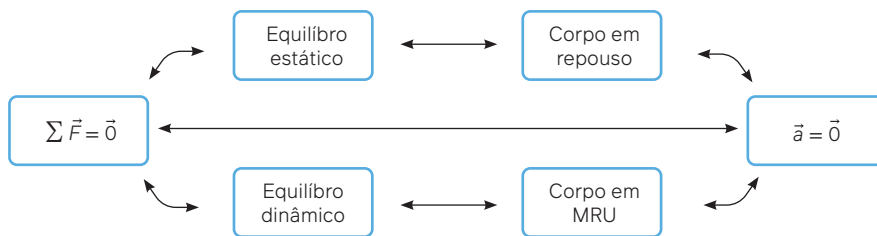


Oraclic Art

Esquema de variáveis da segunda lei de Newton.

Condição de equilíbrio de um ponto material e tipos de equilíbrio

Como a força resultante de um corpo está relacionada à sua aceleração, quando a força resultante for nula, a aceleração do corpo também será. Nessa condição, dizemos que um ponto material está em equilíbrio. Isso pode ocorrer com corpos em repouso (equilíbrio estático) ou corpos em movimento retilíneo uniforme, pois ambas as condições indicam aceleração nula, conforme o esquema a seguir. Dada a segunda lei de Newton, isso significa que, para corpos em repouso e corpos em movimento retilíneo uniforme, por terem aceleração nula, a força resultante também será.

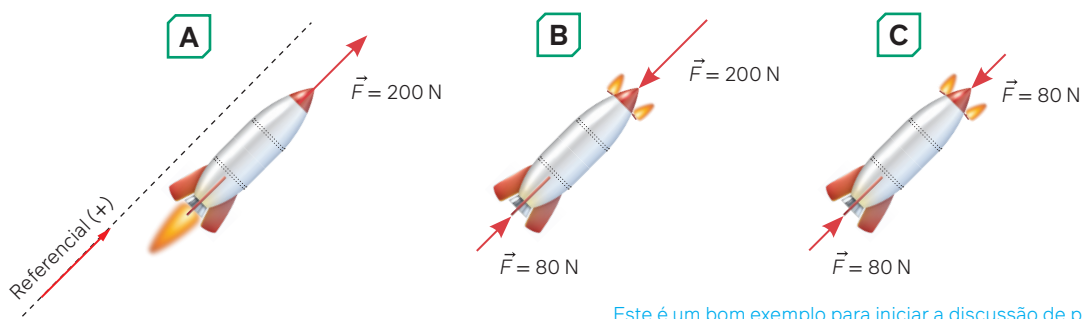


Oraclic Art

Esquema da condição de equilíbrio de um ponto material e casos nos quais essa condição é atendida.

Atividades comentadas

- Uma nave espacial de 500 kg tem propulsores de aceleração e de frenagem. Na figura, são indicadas três situações relacionadas à força dos propulsores.



Ilustrações: Oraclic Art

Calcule a aceleração da nave em cada um dos casos.

Resolução

A $\vec{F}_R = m\vec{a}$
 $200 = 500a$
 $a = \frac{200}{500}$
 $a = 0,4 \text{ m/s}^2$

B $\vec{F}_R = m\vec{a}$
 $80 - 200 = 500a$
 $a = -\frac{120}{500}$
 $a = 0,24 \text{ m/s}^2$

C $\vec{F}_R = m\vec{a}$
 $80 - 80 = 500a$
 $a = 0$

Este é um bom exemplo para iniciar a discussão de problemas com força resultante, pois as forças são colineares. Chame a atenção dos estudantes para possíveis sistemas de forças que não sejam colineares e a possibilidade de usar as representações vetoriais estudadas anteriormente.

Atividades propostas



- A figura a seguir indica um aviso a ciclistas de que no terreno há muitas pedras, o que pode causar acidentes.



A situação representada no desenho:

- indica que, quando a bicicleta bate em uma pedra, uma força empurra o ciclista para frente.
- mostra que, como o ciclista estava em movimento com a bicicleta, a tendência é que, quando a bicicleta parar, ele continuará seu movimento.
- é um exemplo em que não há forças atuando.
- ocorre em um planeta sem gravidade.
- é impossível de acontecer.

2. Algumas pessoas conseguem puxar uma toalha de mesa mantendo os pratos ainda sobre o móvel.

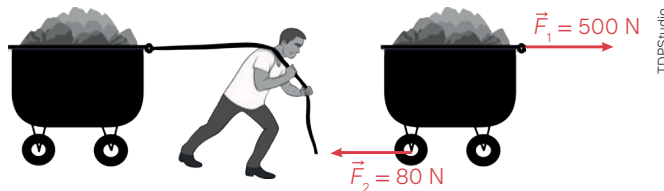
Dorling Kindersley Ltd/Alamy/Fotoarena



Isso acontece porque:

- a) a mesa está presa ao chão.
- b) o prato está preso à mesa.
- c) a tendência natural da toalha é entrar em movimento.
- d) a tendência natural do prato é permanecer em repouso.
- e) tendência natural da mesa é entrar em movimento.

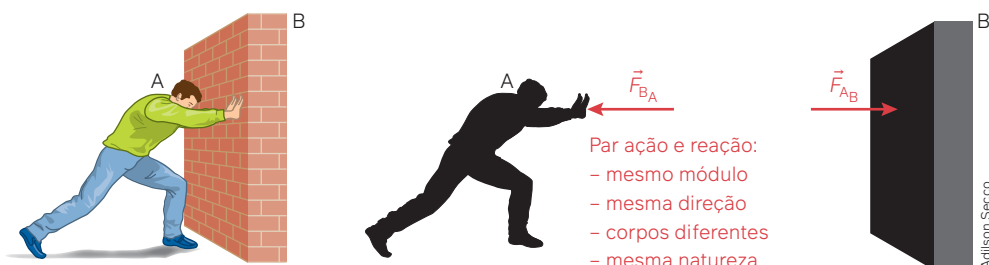
3. Analise cada caso abaixo e assinale a opção na qual o corpo sofrerá a maior aceleração.
- a) Um corpo em queda livre no planeta Terra.
 - b) Um barco de 4 toneladas sob a ação de uma força resultante de 80 kN (quilonewtons).
 - c) Uma bolinha de massa 2 mg sob a ação de uma força resultante de 0,1N.
 - d) Um carro de 800kg sob a ação de uma força resultante de 8 kN.
 - e) Um ser humano de 50 kg sob a ação de uma força resultante de 1000 N.
4. Uma pessoa precisa puxar um carrinho com 200kg de pedra. Ela dá um arranco, com uma força $F_1 = 500\text{ N}$ para tirar o carrinho do repouso. O atrito das rodinhas imprime uma força de $F_2 = 80\text{ N}$. Com que aceleração o carrinho será puxado?



Forças sempre em pares

É impossível aplicar uma força em um corpo sem que haja alguma interação com ele. Ao empurrar um copo, há uma interação entre a mão e o copo. No caso de um carro em repouso, há uma interação entre os pneus e o solo. A ideia de interação implica dizer que forças são trocas entre dois agentes, por isso, se um lápis for pressionado com os dedos, ele também pressiona os dedos de volta. Isaac Newton mostrou que isso é generalizável: para toda força aplicada, existe uma reação de mesmo valor e mesma direção, mas em sentido oposto e no outro corpo. Esse é o princípio de ação e reação, que chamamos de **terceira lei de Newton**.

Na figura a seguir, uma pessoa se apoia em um muro para fazer alongamento após uma atividade física. A força que a mão exerce sobre o muro gera, necessariamente, a força que o muro aplica na mão da pessoa.



Exemplo de forças compondo um par de ação e reação para o caso de uma pessoa que empurra na horizontal uma superfície vertical.

Saiba mais

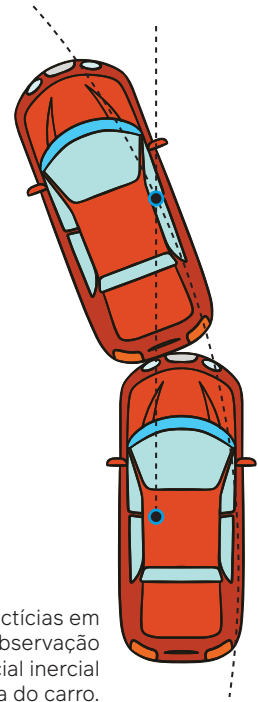
Forças fictícias e referenciais não inerciais

Para que o princípio da inércia seja verificado, precisamos de um **referencial inercial (RI)**, que é um ponto de vista, um observador, uma câmera de filmagem, uma régua, ou qualquer outra definição de referência que não tenha aceleração própria. Em outras palavras, que esteja num intervalo de tempo definido e fixo em relação às estrelas no céu.

Se o referencial possui aceleração própria, ele é um **referencial não inercial (RNI)**. Nesses casos, como o motorista é o referencial fixo ao carro, julgaremos que uma força o empurrou. Essa força é fictícia ou de inércia. É o que chamamos de “força g ”, mas, se olharmos o carro de um referencial inercial, veremos que não há uma força empurrando o motorista. É apenas o princípio da inércia atuando.

Quando um carro faz uma curva para a esquerda, de dentro do carro, um referencial não inercial (RNI) achamos que há uma força empurrando nosso corpo para a direita (força fictícia chamada de centrífuga). Essa força é fictícia, e a principal evidência disso é que não se identifica seu par de reação. Se olharmos de fora do carro, ou seja, de um referencial inercial (RI), veremos que é só o princípio da inércia com a tendência de nosso corpo seguir em linha reta.

É necessário cuidado! Dizer que de dentro do carro as forças que jogam uma pessoa de um lado para o outro são fictícias não significa dizer que elas não têm efeito físico. Elas são o perigo que a lei de trânsito busca evitar quando obriga que todos usem cintos de segurança.



Forças “ g ” fictícias em curvas e sua observação de um referencial inercial fora do carro.

TDPStudio

Forças mais comuns

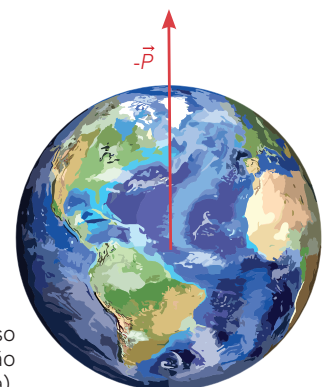
Peso

Se **massa** é a medida da inércia de um corpo, o que é o peso? Todos os corpos próximos ao planeta são atraídos para o centro dele. A gravidade não depende de contato. Atua em um caminhão, em um mosquito, em você e em todos os corpos na Terra. É aquilo que mantém as águas dos oceanos onde estão, que faz uma fruta cair da árvore, que faz os corpos acelerarem quando caem. É uma força! A essa força de atração, chamamos **peso**. Falamos do peso no dia a dia, muitas vezes, como se estivéssemos falando da massa. É bem verdade que o peso está relacionado à massa, mas massa é a inércia, enquanto o peso é uma força. O peso de um corpo é o produto da massa desse corpo pela aceleração da gravidade local; e como o peso é uma força, no Sistema Internacional de Unidades, é dado em newton.

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

O princípio da ação e reação funciona para a força peso? Sim! O planeta atrai o seu corpo e o seu corpo também atrai o planeta. Esse é o par de ação e reação da força peso, mas, como a inércia do planeta é muito maior do que a inércia do seu corpo, o planeta não muda seu estado de movimento. É importante ressaltar que força peso atua no centro de massa de nossos corpos, por isso, a reação da força peso atua no centro de massa do planeta.

Localização da força peso (na pessoa) e de sua reação (no núcleo do planeta).

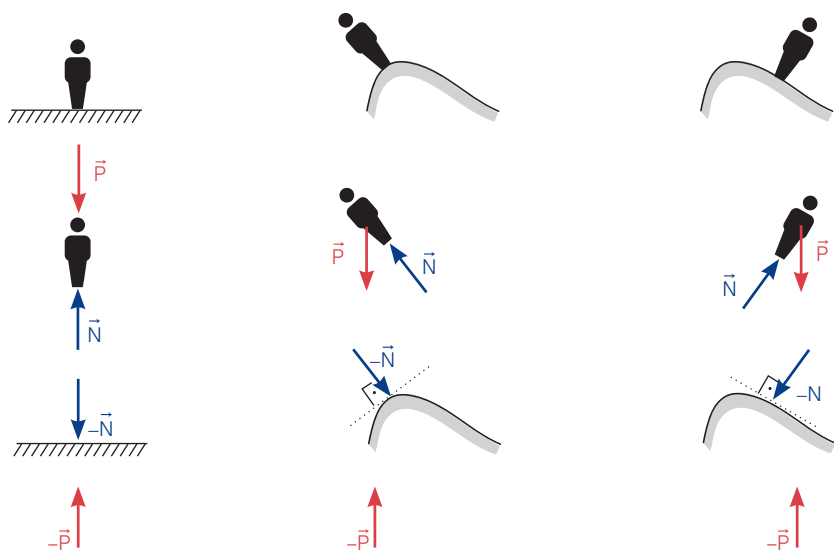


TDPStudio

TDPStudio

Força normal

A força que nossos pés aplicam no chão é uma força de contato (diferente do peso, que não precisa de contato para atuar). A reação a essa força de contato, pressionando os pés, chamamos de força normal. O termo **normal** vem da Matemática, e indica que é uma força sempre perpendicular à superfície onde o corpo está.



Ilustrações: TDFStudio

Representação de uma pessoa com indicação de força normal e sua reação (sempre perpendicular à superfície de contato), e da força peso do corpo da pessoa e sua reação (sempre no centro do planeta) em três diferentes circunstâncias.

Força de tração

Cordas e cipós fazem parte das tecnologias humanas há muito tempo. Amarrávamos madeiras com cipó para construção de casas, puxávamos água de um poço usando cordas. As cordas, quando são tensionadas, conseguem puxar os objetos, e essa força que as cordas promovem é chamada força de **tração**.



Nach-Nehy/Shutterstock.com



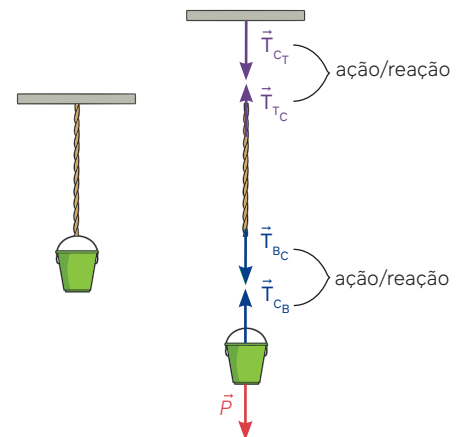
Marcos Amend/Pulsar Imagens

Uso da força de tração em cordas para soluções de demandas humanas. Em A, corda para puxar água de um poço e, em B, casa de construção indígena feita com amarração de cipó.

Em uma corda ideal (que não estica e que é muito leve), a força de tração possui o mesmo valor na corda toda. Ainda, não é possível que uma corda esticada empurre um corpo. Quando uma corda esticada estiver atuando, a força de tração será sempre puxando o corpo. Se um balde d'água do poço estiver pendurado pela corda esticada, podemos analisar o diagrama das forças que nele atuam.

Vê-se que força de tração tem a característica de puxar os corpos, nunca de empurrá-los. Tracionar significa puxar. Usando polias, podemos mudar a direção de atuação da força de tração. Em um poço, puxamos a corda para baixo ou para o lado, e a corda puxa o balde para cima.

Pares de ação e reação da força de tração com tração da corda no balde (T_{BC}) e sua reação, tração do balde na corda (T_{CB}) e também a tração da corda no teto (T_{CT}) e sua reação, tração do teto na corda (T_{TC}) e indicativo da força peso atuando no balde.



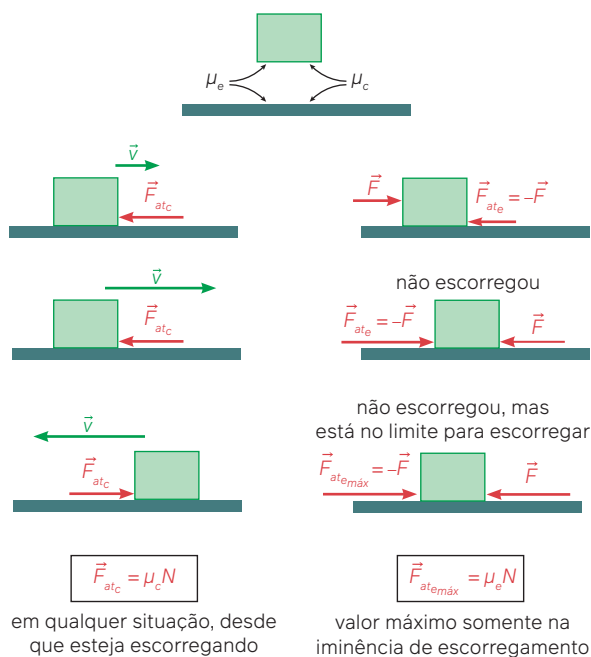
TDFStudio

Força de atrito

A força que chamamos de **atrito** ocorre quando duas superfícies pressionadas uma contra a outra apresentam uma tendência de escorregamento entre elas ou quando ocorre, de fato, o escorregamento. Então, o atrito pode atuar impedindo o escorregamento, o que chamamos de **atrito estático**, ou durante o escorregamento, o que chamamos de **atrito cinético**. Nos dois casos, quanto mais uma superfície estiver pressionada contra outra, ou seja, quanto maior for a força normal, maior será a força de atrito, mas as características das superfícies também influenciam: o atrito é maior entre superfícies que são mais ásperas, mais rugosas.

Para nos referirmos à rugosidade de uma superfície, utilizamos um valor que é chamado de **coeficiente de atrito**, representado pela letra grega "mi" (μ), sendo geralmente diferente para situações de escorregamento (coeficiente de atrito cinético μ_c) e situações de não escorregamento (coeficiente de atrito estático μ_e).

Uma vez que um corpo estiver escorregando, a força de atrito entre as superfícies será constante e dada por $F_{atc} = \mu_c N$, mas, se o corpo não estiver escorregando, a força de atrito estático dependerá do quanto o corpo é solicitado. Nesse caso, quanto mais tentamos fazer o corpo escorregar, maior é o atrito estático, até que o atrito atinja seu valor máximo. O valor máximo da força de atrito estático ocorre na iminência de escorregamento e é dado por $F_{ate(máx)} = \mu_e N$. Veja na imagem a seguir.



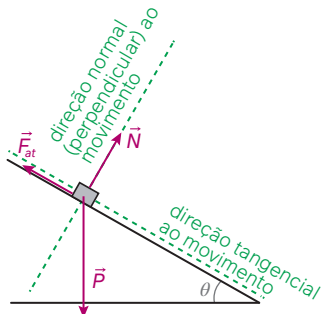
Comparação entre situações de atrito cinético e situações de atrito estático máximo.

Saiba mais

Atrito em um plano inclinado

Nas olimpíadas de Tóquio de 2020, que, devido à pandemia de covid-19, ocorreram em 2021, a brasileira Rayssa Leal se tornou a mais jovem atleta a ser medalhista olímpica em 85 anos, ao conquistar a medalha de prata no *skate* tendo apenas 13 anos e 203 dias. Em uma de suas manobras, seu *skate* desceu uma rampa, deslizando a prancha num corrimão.

A skatista brasileira Rayssa Leal em manobra durante as olimpíadas de Tóquio, em 2021.

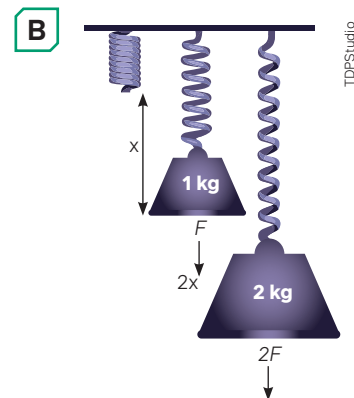
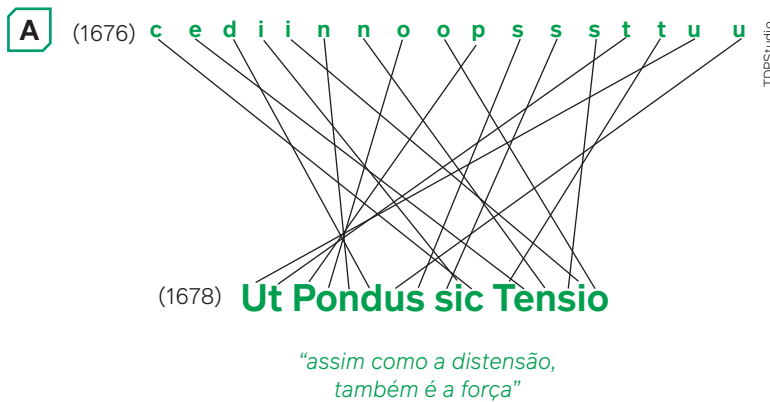


Esquema de forças atuando no skate enquanto escorrega pela rampa.

Quando um corpo desce uma rampa inclinada, o peso (que é vertical, apontando o centro do planeta) não tem o mesmo valor da força normal (que é perpendicular à rampa). Isso influencia na força de atrito, que depende da força normal. A imagem anterior mostra o esquema típico de análise de forças para um corpo que desce uma rampa com atrito.

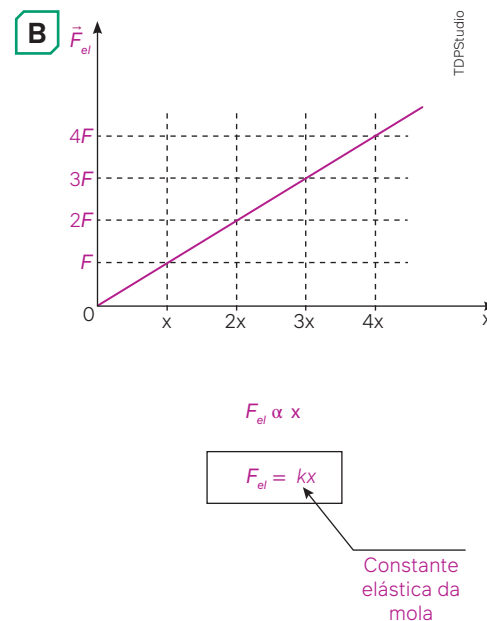
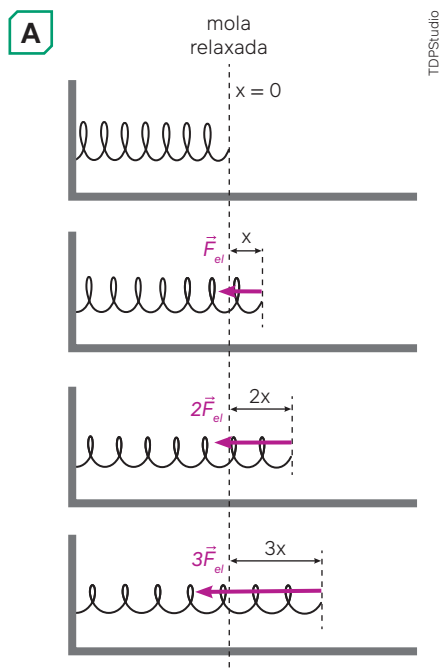
Força elástica: um caso de força dependente da posição

Quanto vale uma descoberta científica? Quando o cientista britânico Robert Hooke descobriu um comportamento notável das molas, publicou a descoberta na forma de anagrama para que a ideia não fosse copiada e atribuída a outra pessoa. Somente dois anos depois, Hooke publicou a solução do anagrama, mostrando que, em uma mola, força e distensão são proporcionais.



Anagrama de Hooke, com ano da publicação e ano da solução, além de uma tradução livre **(A)**, e, a representação gráfica da situação que traduz seu significado **(B)**.

A frase em latim escondida no anagrama de Hooke, “assim como a distensão, também é a força”, indicava que se distendermos uma mola duas vezes mais, ela fará duas vezes mais força. Dessa forma, se pendurarmos um corpo em uma mola presa ao teto, por exemplo, a mola se distenderá uma certa quantidade. Triplicando o peso, a mola se distenderá três vezes mais. Essa relação de proporcionalidade em molas lineares é o que chamamos **lei de Hooke**.



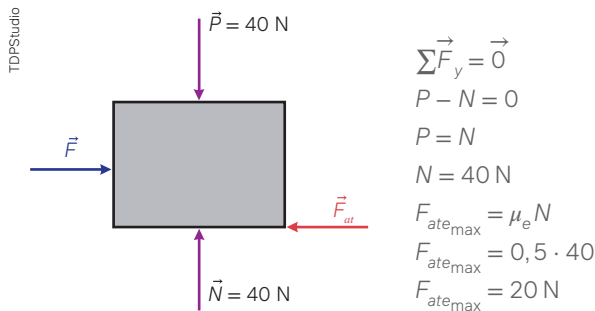
Lei de Hooke: esquema comparativo da distensão da mola e da força por ela exercida **(A)**; representação gráfica das forças elásticas em função das deformações e equação da lei de Hooke **(B)**.

Atividades comentadas

1. Uma cadeira de 4 kg está inicialmente em repouso sobre o piso de uma sala. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre a cadeira e o piso valem, respectivamente, $\mu_e = 0,5$ e $\mu_c = 0,3$. Avalie qual é a mínima força horizontal que deve ser aplicada à cadeira para que ela escorregue no piso. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

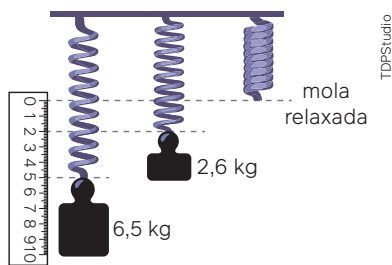
Resolução

O primeiro passo é descobrir se a força F é suficiente para fazer o corpo escorregar ou não. Para isso, precisamos conhecer a força de atrito estático máxima. Observando o diagrama de forças, temos:



Então, se empurrarmos a cadeira com forças horizontais maiores que 20 N, a cadeira escorregará. Se a empurrarmos com exatos 20 N, a cadeira ficará à iminência de escorregamento.

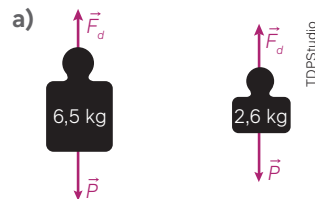
2. A figura a seguir representa três diferentes situações de uma mola em repouso pendurada no teto.



Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e que a régua está graduada em centímetros, faça o que se pede.

- Determine a força elástica em newtons em cada um dos dois casos.
- Desenhe um gráfico da força elástica, em newtons, em função da deformação da mola, em centímetros.
- Calcule a constante elástica da mola.

Resolução



$$\sum \vec{F}_y = \vec{0}$$

$$F_{el1} = P_1$$

$$F_{el1} = m_1 g$$

$$F_{el1} = 6,5 \cdot 10$$

$$F_{el1} = 65 \text{ N}$$

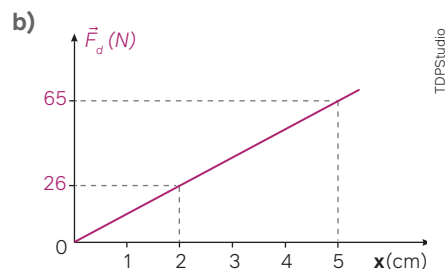
$$\sum \vec{F}_y = \vec{0}$$

$$F_{el2} = P_2$$

$$F_{el2} = m_2 g$$

$$F_{el2} = 2,6 \cdot 10$$

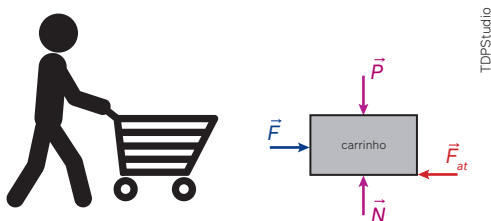
$$F_{el2} = 26 \text{ N}$$



- $F_{el} = k \cdot x \Rightarrow 65 = k \cdot 5 \Rightarrow k = 13 \text{ N/cm}$
 Mas pode ser feito com o outro ponto:
 $F_{el} = k \cdot x \Rightarrow 26 = k \cdot 2 \Rightarrow k = 13 \text{ N/cm}$

Atividades propostas

- Uma pessoa empurra um carrinho de supermercado de 80 kg em um local onde a aceleração da gravidade é $g = 10 \text{ m/s}^2$. De modo simplificado, a situação pode ser analisada como um corpo sendo empurrado por uma força F .

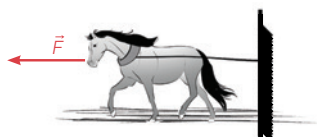


Se os coeficientes de atrito entre o carrinho e o solo são $\mu_e = 0,6$ e $\mu_c = 0,4$, determine:

- a força mínima aplicada pelo homem para que o carrinho inicie um movimento, caso esteja em repouso;

- a distância que o carrinho percorrerá até parar se o homem o abandonar escorregando com velocidade de 4 m/s.

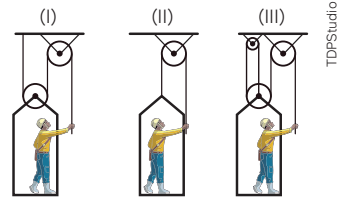
- Dois cavalos são capazes de exercer uma força F puxando uma corda. Numa primeira situação, eles são colocados para puxarem juntos uma mesma corda. Numa segunda situação, a corda é presa à parede, e um dos cavalos a puxa.



É correto dizer que:

- a) a força de tração na primeira situação é duas vezes maior que na segunda.
 - b) a força de tração na primeira situação é metade da segunda.
 - c) a força de tração é a mesma nas duas situações.
 - d) a força de tração é nula apenas na primeira situação.
 - e) a força de tração é nula apenas na segunda situação.
3. Uma pessoa usando uma bengala sobe em uma balança de compressão e ali permanece em repouso, com a bengala pressionando a balança. A balança atua como um dinamômetro. Analise as proposições a seguir.
- I. O peso da pessoa diminui.
 - II. A força de reação normal ao apoio dos pés da pessoa diminui.
 - III. A balança marca um valor igual ao peso da pessoa. É correto o que se afirma em:
- a) I, II e III. c) apenas I. e) apenas III.
 - b) I e III. d) II e III.

4. Os arranjos de roldanas podem modificar a força de tração na corda. Considere que um trabalhador está num andaime suspenso sustentando seu próprio corpo em três arranjos diferentes de roldanas.



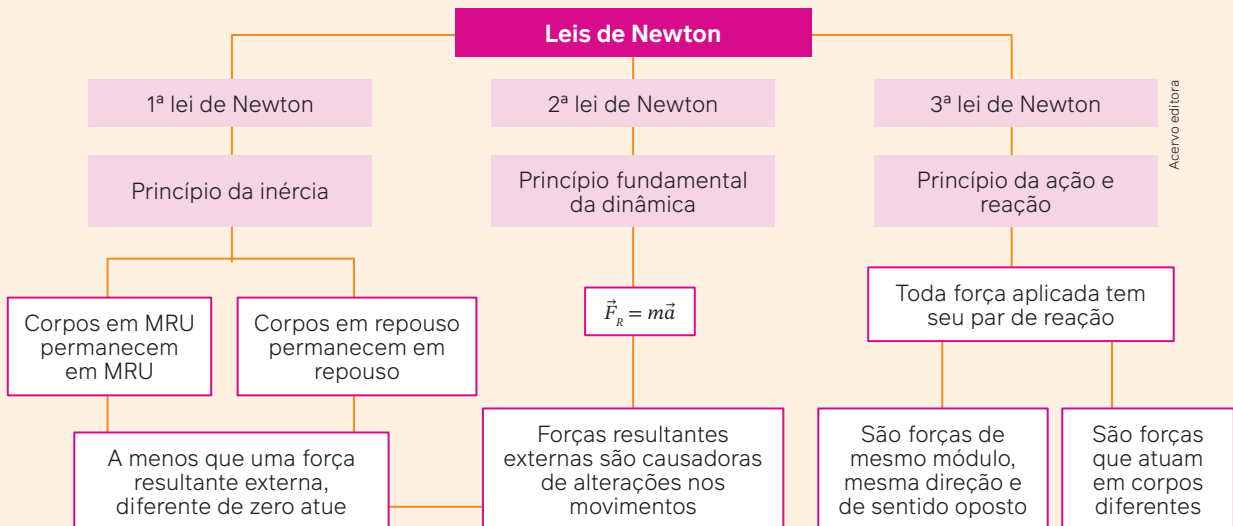
Desprezando o peso da corda, das roldanas e do andaime suspenso, assinale a alternativa correta:

- a) Nos três casos, a força de tração na corda é igual ao peso do homem.
- b) Na situação I, a força de tração na corda é metade do peso do homem.
- c) Na situação II, a força de tração na corda é o dobro do peso do homem.
- d) Na situação III, a força de tração na corda é $\frac{1}{4}$ do peso do homem.
- e) Na situação I, a força de tração na corda é maior que nas situações II e III.

Recapitule



Agora sabemos que forças são interações que podem ocorrer sem contato (como a força peso) ou com contato (como a força normal). Podemos utilizar as representações vetoriais para interpretar situações em que mais de uma força atue. É mais fácil manobrar um navio carregado ou um carrinho de brinquedo? Aprendemos que a massa de um corpo indica sua inércia. Usamos as leis de Newton para analisar o mundo à nossa volta: corpos em repouso ou em MRU tendem a manter seu estado; forças resultantes promovem acelerações e forças sempre ocorrem em pares, sendo impossível termos as duas forças de ação e reação em um mesmo corpo. Analise e recapitule com o esquema a seguir.



Retome as questões que constam na abertura do capítulo, no boxe **Para refletir**. Com base no que você aprendeu, como responderia a essas questões? Você alteraria alguma resposta?

Desafie-se a responder: Por que uma pessoa consegue empurrar um carro de uma tonelada, mas não consegue erguê-lo?

Equilíbrio de sólidos e de líquidos

Laurence Griffiths/Getty Images AsiaPac/Getty Images



Arthur Zanetti, do Brasil, nos Jogos Olímpicos de Tóquio no *Ariake Gymnastics Centre*. Ele mantém seu corpo equilibrado em posição horizontal, sustentando-se apenas por argolas. Tóquio, Japão, 2021.

▼ Para refletir

1. Por que caímos de uma cadeira quando nos inclinamos muito para trás?
2. Como você interpreta a frase atribuída a Arquimedes “*Dê-me uma alavanca e um ponto de apoio e eu moverei o mundo*”?
3. Por que um navio, com milhares de toneladas, não afunda?

Objetivos do capítulo

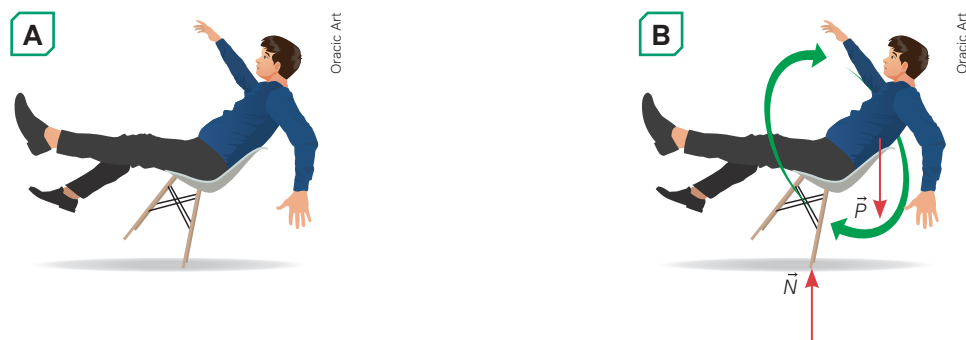
- Conhecer condições de equilíbrio de corpos extensos e de líquidos.
- Avaliar as consequências de torques resultantes em corpos extensos.
- Aplicar a noção de torque a mecanismos de alavanca.
- Analisar situações de líquidos em repouso.
- Propor soluções para diferentes situações-problema com corpos sujeitos a forças e torques não nulos.

Equilíbrio de corpos extensos

Em apresentações circenses, é comum vermos equilibristas “desafiando a gravidade” e equilibrando seus corpos de modo que não nos parece possível. Por outro lado, nem todo mundo desenvolve talentos de equilibristas e, no dia a dia, não é raro vermos alguém perder o equilíbrio. Por exemplo, você já soube de alguém que caiu para trás ao se inclinar em uma cadeira? Se as duas únicas forças que atuam na pessoa são o peso, apontando para o centro da Terra, e a força normal, neste caso, atuando para cima, e se essas forças se anulam, por que a pessoa sairia do equilíbrio? Isso acontece porque o fato de as forças atuantes sobre um corpo se anularem não garante o equilíbrio. Para compreender esse processo, outra condição precisa ser atendida, como veremos adiante.

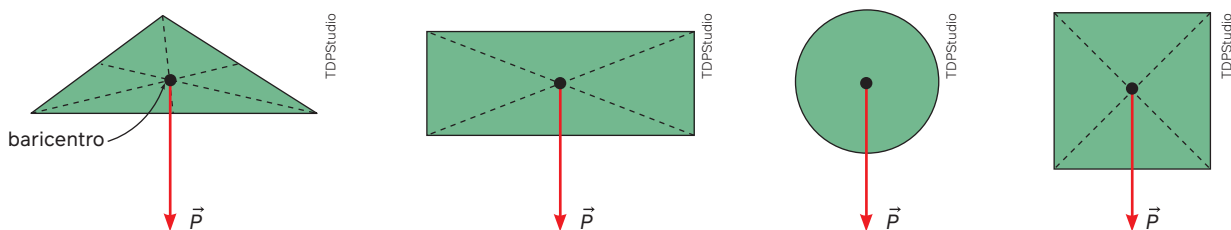
Centro de massa e tombamento

Quando um corpo está apoiado em um ponto, como o pé da cadeira, na figura a seguir, e uma força, como o peso, por exemplo, atua no corpo sem passar por esse ponto, uma tendência de rotação será notada. No caso da figura, o corpo do homem tem centro de massa próximo ao tórax e, quando o tórax se posicionou além dos pés da cadeira, o equilíbrio passou a ser impossível, ocasionando o tombamento da cadeira.



Uma pessoa se balançando em uma cadeira (A) e a representação do peso da pessoa, passando do ponto de apoio onde está a força normal, provocando uma rotação que tomba a cadeira (B).

Cada corpo possui um ponto, chamado **centro de gravidade**, onde atua a força peso. Em corpos que exibem simetria e a distribuição regular da massa, o centro de massa pode coincidir com o centro geométrico do corpo. Ou seja, para um corpo geometricamente regular e homogêneo, o peso atua no seu centro geométrico, no seu baricentro.



Representação de diferentes figuras geométricas e seus respectivos baricentros.

Se liga

Centro de massa e centro de gravidade

O centro de massa é um ponto que se comporta como se toda a massa de um corpo estivesse concentrada sobre ele, e seu cálculo depende da distribuição da massa do corpo. O centro de gravidade é o ponto onde podemos considerar o peso total do corpo ou do sistema de partículas.

Corpos homogêneos são feitos do mesmo material e com densidade constante. As propriedades de qualquer porção de um corpo homogêneo são as mesmas do corpo todo, assim, quando consideramos corpos homogêneos, em campo gravitacional uniforme, o centro de gravidade coincide com o centro de massa.



Centro de massa e tombamento de uma pilha de livros

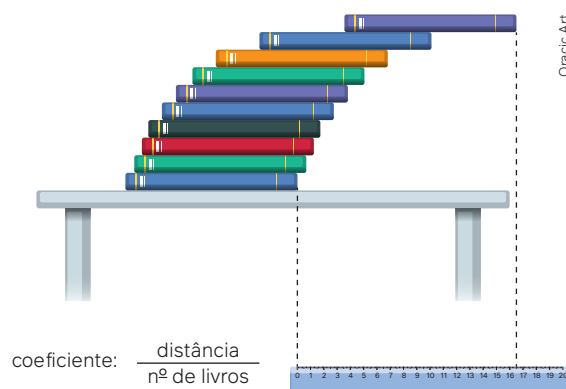
Nesta atividade investigativa, a noção de tombamento e de centro de massa serão utilizadas para avaliar um empilhamento de livros iguais. Alguns livros serão empilhados a fim de chegar o mais à frente possível sem que o sistema tombe.

Material:

- livros iguais (10 ou mais);
- régua.

Procedimento

1. Empilhe livros iguais buscando avançar com a pilha o mais à frente possível, sem que ela tombe.
2. Depois, meça com a régua a máxima distância alcançada da extremidade do primeiro livro e do último livro.
3. A figura ao lado esquematiza a montagem e indica um coeficiente que associa a máxima distância alcançada ao número de livros utilizados.
4. Dado que o coeficiente indicado na figura é uma razão entre a distância alcançada pelos livros, sem que ocorra o tombamento, e o número de livros empilhados, calcule qual será o valor do coeficiente de sua pilha de livros, indicando a unidade de medida desse coeficiente.



Esquema experimental do empilhamento e análise do coeficiente a ser estudado.

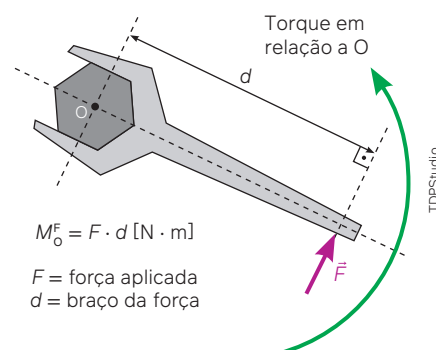
Trocando ideias



1. Discuta com seus colegas as diferentes pilhas de livros e os diferentes valores encontrados para o coeficiente sugerido e formule uma hipótese para o padrão desse arranjo, a partir do comportamento matemático desse coeficiente.
2. Avalie as distâncias máximas de cada livro além do apoio.
3. Como estabelecer um padrão da distribuição máxima de livros sem causar o tombamento?

Torque

Em muitas situações tratamos os corpos como sendo pontos materiais, desprezando seu tamanho e suas dimensões. Isso é importante para compreendermos alguns fenômenos físicos, mas, quando tratamos um corpo considerando suas dimensões, os locais de atuações das forças sobre o corpo fazem muita diferença e podem fazê-lo sair do equilíbrio e girar, mesmo que essas forças se anulem. Isso acontece por causa de uma grandeza física chamada **torque** ou **momento de uma força** em relação a um ponto. O torque é dado pelo produto da intensidade da força pela distância entre a reta que define a sua linha de ação e o ponto de rotação. Lembre-se de que a distância de uma reta até um ponto é sempre medida na direção perpendicular à reta, conforme pode ser observado ao lado.



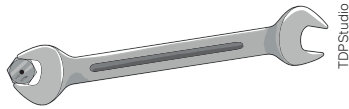
Cálculo do torque de uma força F sobre um parafuso, aplicada a uma chave de boca em relação a um ponto O , situado no centro de rotação do parafuso.

Condições de equilíbrio de um corpo extenso

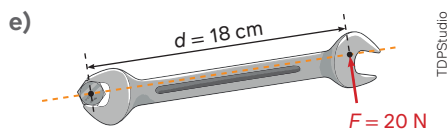
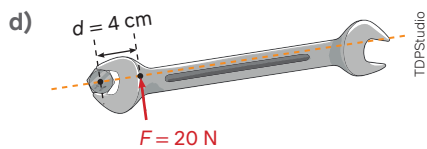
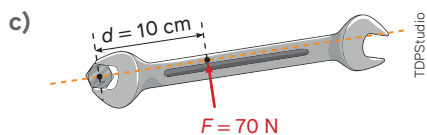
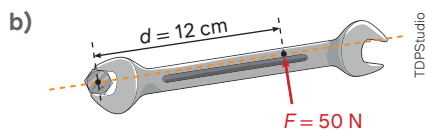
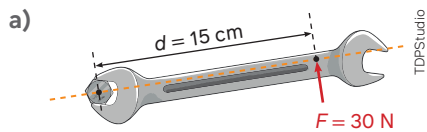
Sabemos que, quando um corpo está em equilíbrio, a força resultante no corpo é nula ($\sum \vec{F} = \vec{0}$). Mas essa condição só é suficiente se o corpo for um ponto material e isso é o que chamamos de **equilíbrio de translação**. O equilíbrio de translação garante que um ponto material não terá aceleração linear em nenhuma direção. Em um corpo extenso, precisamos também garantir o **equilíbrio de rotação**, ou seja, garantir que o corpo não gire em nenhum sentido. Para isso, precisamos que a soma de todos os torques em relação a um ponto escolhido, qualquer que seja esse ponto, seja nula ($\sum M_o^F = 0$).

Atividades comentadas

1. Uma chave de boca é encaixada a um parafuso sextavado com o intuito de fazer o parafuso girar, conforme mostrado na figura.



Sabendo que o torque mínimo necessário, em relação ao centro da cabeça do parafuso, para que ele gire é de 0,6 Nm, assinale a situação na qual esse torque mínimo é aplicado ao parafuso.



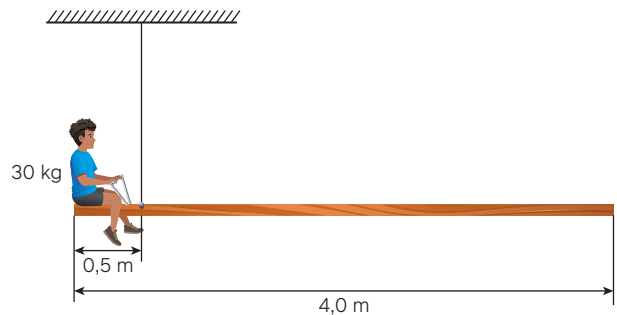
Resolução

- a) O torque é $F \cdot d = 30 \text{ N} \cdot 0,15 \text{ m} = 4,5 \text{ Nm}$.
 b) O torque é $F \cdot d = 50 \text{ N} \cdot 0,12 \text{ m} = 0,6 \text{ Nm}$, que é o gabarito correto.
 c) O torque é $F \cdot d = 70 \text{ N} \cdot 0,1 \text{ m} = 7 \text{ Nm}$.
 d) O torque é $F \cdot d = 20 \text{ N} \cdot 0,04 \text{ m} = 0,8 \text{ Nm}$.
 e) O torque é $F \cdot d = 20 \text{ N} \cdot 0,18 \text{ m} = 3,6 \text{ Nm}$.

Alternativa **b**.

2. Um balanço é feito com uma tábua horizontal homogênea, de 4,0 m de comprimento. Em uma tábua homogênea, o centro de massa coincide com o seu centro geométrico. O balanço está preso ao teto por um fio situado a meio metro de sua extremidade esquerda. Uma criança de 30 kg

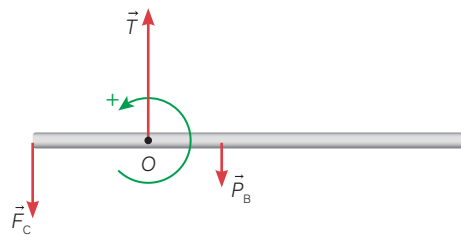
sentada bem ao extremo esquerdo da barra consegue permanecer em equilíbrio.



Qual deve ser o peso da barra para que o sistema permaneça equilibrado? Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Resolução

A condição de equilíbrio de rotação é que a soma dos momentos em torno de um mesmo ponto, qualquer que seja o ponto, é nula. Adotando o ponto em que o fio prende a tábua como ponto O de referência para o cálculo da condição de equilíbrio de rotação e, ainda adotando o sentido de giro anti-horário como sentido positivo, vamos representar as forças que agem na tábua e escrever as condições de equilíbrio. Assim, temos:



$$\begin{aligned} \sum \vec{F}_R &= 0 \\ T - F_C - P_B &= 0 \\ \sum M_O^F &= 0 \Rightarrow M_O^{F_C} + M_O^T + M_O^{P_B} = 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow +F_C \cdot d_C + 0 - P_B \cdot d_P = 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow +m_C \cdot g \cdot 0,5 - P_B \cdot 1,5 = 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow +300 \cdot 0,5 - P_B \cdot 1,5 = 0 + 150 = 1,5P_B \\ \therefore P_B &= 100 \text{ N} \end{aligned}$$

Perceba que a escolha do ponto de referência para o cálculo dos torques é arbitrária. No entanto, a escolha do ponto O é conveniente, porque o torque da tração sobre a tábua, aplicada pela corda, torna-se nula, uma vez que a linha de ação dessa tração passa no ponto O, e, então, o braço dessa força em relação a O é nulo.

Nesse ponto, pode-se determinar também o valor da tração da corda a partir do equilíbrio das forças: Estando a barra em equilíbrio, $\sum F = 0$, logo $T - F_C - P_B = 0$, $F_C = 300 \text{ N}$ e $P_B = 100 \text{ N}$, segue que $T = 400 \text{ N}$.

Equilíbrio e arte circense

Circo: a história do circo

A palavra “circo” vem do latim “*circus*” (referente a círculo ou anel). O Circo sempre teve como objetivo levar entretenimento às pessoas. Desde a Antiguidade, muitas civilizações já praticavam algum tipo de arte circense. O primeiro a se tornar famoso foi o Circus Maximus, na Roma Antiga, com capacidade para 300 mil pessoas. [...]

Roma teve papel muito importante na história do Circo, com o fim do império dos Césares e o início da Era Medieval. Artistas populares passaram a improvisar suas apresentações em praças públicas, feiras e entradas de igrejas. “Nasciam assim as famílias de saltimbancos, que viajavam de cidade em cidade para apresentar seus números cômicos, de pirofagia, malabarismo, dança e teatro” (Luiz Rodrigues Monteiro, professor de Artes Cênicas e Artes Circenses da Unicamp).

Foi no século XVIII que surgiu o Circo moderno, com seu picadeiro circular e a reunião das atrações que compõem o espetáculo de hoje. O sucesso foi tamanho que o Circo moderno foi imitado não só no resto do continente europeu, mas atravessou o Atlântico e se espalhou pelos quatro cantos da Terra.



Artistas circenses mantendo seus corpos em equilíbrio.

mestre1305/freepik.com

A história do circo no Brasil

Esta arte, que encanta crianças e adultos, surgiu no Brasil no século XIX, com famílias e companhias vindas da Europa. Aqui, se agruparam em guetos e colateralmente manifestavam suas habilidades circenses.

No Brasil, o Dia do Circo é comemorado em 27 de março, em homenagem ao famoso palhaço Piolin, que nasceu nessa data. O Circo sempre teve uma ligação com a comunidade cigana. Entre suas especialidades, incluíam-se os domadores de ursos, o ilusionismo e as exibições com cavalos. Eles viajavam de cidade em cidade, e adaptavam seus espetáculos ao gosto da população local.

Já o novo circo – como o internacional Cirque Du Soleil – é um movimento recente, que adiciona às técnicas de circo tradicionais a influência de outras linguagens artísticas como a dança e o teatro, levando em conta que a música sempre fez parte da tradição circense.

Com a proibição dos animais em apresentações circenses no ano de 2005 no Brasil, vários grupos estão pesquisando e utilizando essa nova linguagem [...].

SÃO BERNARDO DO CAMPO. *Circo - A História do Circo*. São Bernardo do Campo: Secretaria de Cultura e Juventude, [20-]. Disponível em: <https://www.saobernardo.sp.gov.br/web/cultura/a-historia-do-circo>. Acesso em: 31 ago. 2024.

Trocando ideias

1. Como o conhecimento de torque e centro de massa explica o equilíbrio em apresentações circenses, como a retratada na imagem presente nesta seção?
2. Como você vê a importância cultural de apresentações circenses?
3. Pensando do ponto de vista ético, o que você acha da proibição do uso de animais em apresentações circenses?

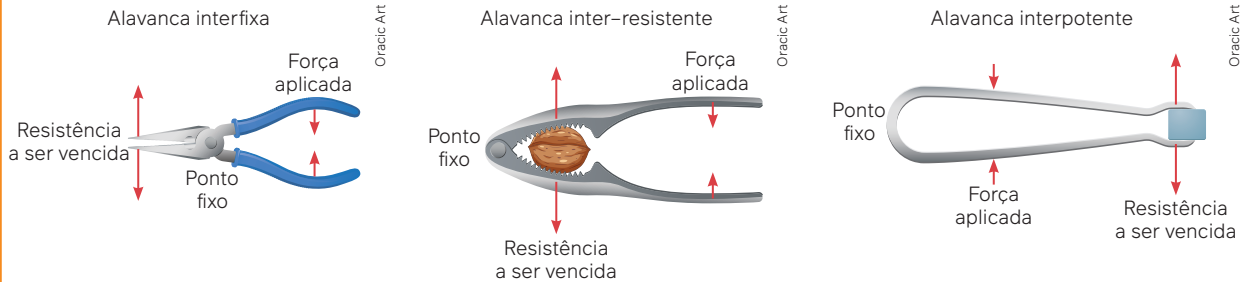
#FicaADica

PhET. Balançando, de University of Colorado. Portal que permite simulações interativas para Ciência, Química, Física e Matemática. Por meio do *site*, explore a somatória de torques e suas consequências com uma simulação computacional interativa. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/balancing-act/latest/balancing-act_pt_BR.html. Acesso em: 14 ago. 2024.

Saiba mais

Alavancas

Uma das utilidades dos conhecimentos de torque é o uso de alavancas. Alavancas são barras extensas que tem como característica um ponto fixo, um ponto onde uma força é aplicada e um ponto onde uma espécie de resistência é vencida. Mas as alavancas podem ter o ponto fixo em diferentes lugares, modificando o ponto da ação e o ponto da resistência.



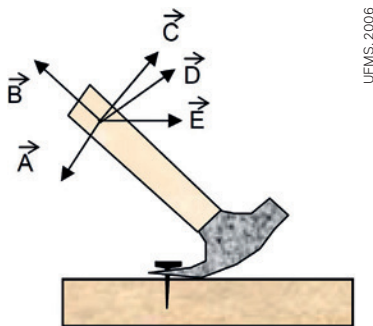
Representação das forças aplicadas em diferentes tipos de alavanca.

Considerando qualquer ponto sobre a alavanca, uma vez que o torque depende da força aplicada e da distância dessa força, é possível vencer uma grande resistência usando uma força bem pequena. Basta termos uma distância suficientemente grande para isso.

Atividades propostas



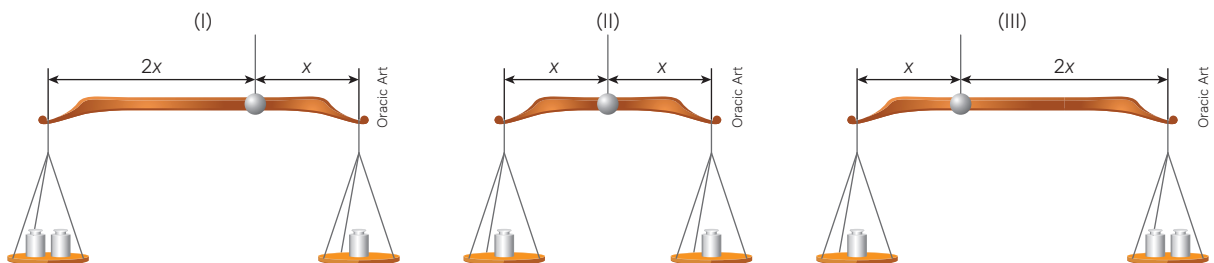
1. (UFMS – 2006) Querendo-se arrancar um prego com um martelo, conforme mostra a figura, qual das forças indicadas (todas elas de mesma intensidade) será mais eficiente?



UFMS, 2006

- A
- B
- C
- D
- E

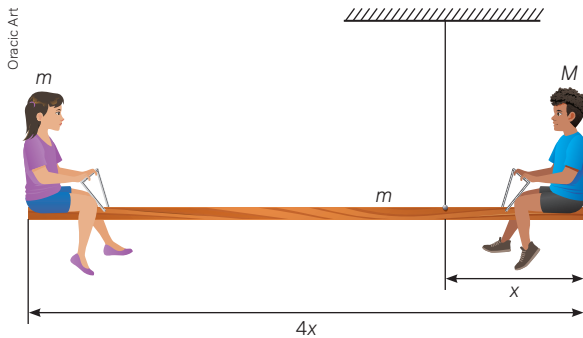
2. A figura a seguir mostra três balanças nas quais são colocadas diferentes quantidades de corpos com pesos iguais.



O equilíbrio ocorre:

- apenas na balança II.
- nas balanças I e II.
- apenas na balança I.
- nas balanças II e III.
- em nenhuma balança.

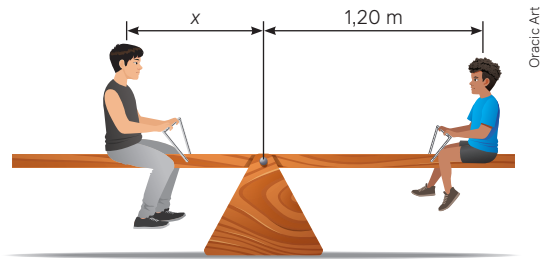
3. Uma corda sustenta uma gangorra de massa m , posicionada a $\frac{1}{4}$ do comprimento total da gangorra em relação à borda. Uma criança também de massa m está em uma das extremidades da gangorra em equilíbrio com outra criança de massa M . A figura a seguir representa essa situação.



A relação entre as massas das duas crianças $\frac{M}{m}$ é:

- a) 5 c) 3 e) 1
b) 4 d) 2

4. Um adulto de 80 kg e uma criança de 20 kg brincam em uma gangorra de 2,4 m de comprimento e 100 kg de massa, apoiada pelo seu ponto médio, conforme a figura:



Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, faça o que se pede.

- a) Isole a gangorra e faça um diagrama de forças que nela atuam.
b) Determine a distância x que o adulto deve manter do centro da gangorra para que se equilibre com a criança.
c) Determine a força que o apoio exerce sobre a barra da gangorra.

Líquidos em equilíbrio estático

Massa específica

Quando um corpo é colocado dentro de um líquido, as pressões do líquido sobre o corpo promovem uma força para cima (contrária à gravidade). O módulo dessa força é a chave para respondermos à questão do navio, no início do capítulo. Para analisarmos essa força dos líquidos, vamos antes aprender sobre algumas propriedades dos líquidos.

Em uma tradicional anedota, é comum perguntarem: “*Quem pesa mais, um quilograma de chumbo ou um quilograma de algodão?*”. A resposta é que o peso é o mesmo, pois em ambos os casos estamos tratando de 1 kg. Mas se perguntarem em seguida: “*E o que é mais fácil de carregar, um quilograma de chumbo ou um quilograma de algodão?*”, aí a resposta precisa de cuidado. Embora ambos tenham 1 kg, essa quantidade de chumbo provavelmente cabe na palma da sua mão. Já 1 kg de algodão ocupa um espaço muito maior, sendo talvez difícil de armazenar e, portanto, de carregar. Mas se ambos possuem 1 kg, o que há de diferente? Cada material, devido à sua composição, possui uma **massa específica** (ρ) que é a relação entre a massa e o volume ocupado por esse material. Por isso, 1 kg de chumbo ocupa muito pouco volume se comparado a 1 kg de algodão.

$$\rho_{\text{material}} = \frac{m}{V} [\text{kg/m}^3]$$

Densidade

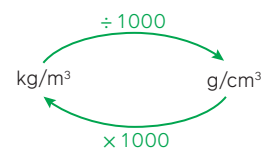
Muito se fala em **densidade** quando falamos em boiar, afundar ou, ainda, quando comparamos algodão, madeira, chumbo e outros materiais. Densidade é uma grandeza muito parecida com massa específica e é dada nas mesmas unidades. Mas se difere por ser uma grandeza que se refere a um corpo e não a um material. Se um corpo é todo feito de um único material e todo preenchido desse material, a densidade desse corpo terá o mesmo valor da massa específica do material. Mas se o corpo for composto de diferentes materiais ou se tiver cavidades internas, sua densidade pode ter um valor diferente da massa específica do material.

$$\rho_{\text{material}} = \frac{m}{V} [\text{kg/m}^3]$$

$$d_{\text{corpo}} = \frac{m}{V} [\text{kg/m}^3]$$

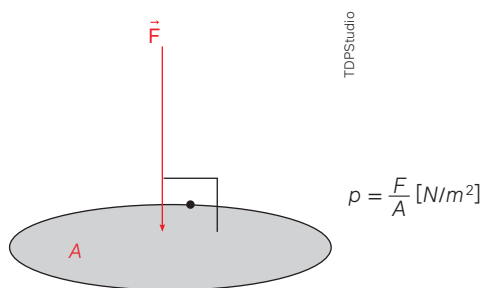
Densidade e massa específicas possuem unidades de kg/m^3 no Sistema Internacional de Unidades. Mas em muitas situações poderemos lidar com medidas de massa específica em g/cm^3 . Cabe, então, a sua conversão:

$$1 \text{ kg/m}^3 = \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = \frac{1 \text{ 000 g}}{1(10^2 \text{ cm})^3} = \frac{10^3 \text{ g}}{10^6 \text{ cm}^3} = 10^3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{g}}{(\text{cm})^3} = 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$



Esquema simplificado para a conversão entre kg/m^3 e g/cm^3 .

A grandeza física responsável por essa diferença é a **pressão**. Quanto maior for a força aplicada e/ou menor for a área onde essa força está atuando, maior é a pressão, e vice-versa: forças menores aplicadas em áreas maiores imprimem uma pressão menor.



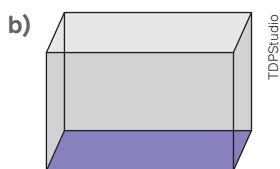
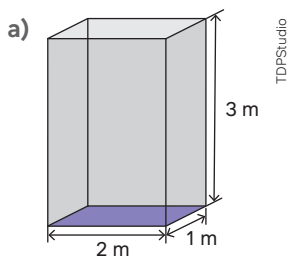
Representação de um vetor atuando perpendicularmente a uma superfície, promovendo uma pressão sobre ela, com indicativo do cálculo da pressão e a unidade correspondente no Sistema Internacional de Unidades.

A pressão indica uma distribuição de forças (que, no Sistema Internacional de Unidades, são dadas em N) por unidade de área (em m²). No SI, medidas de pressão são dadas na unidade **pascal** (Pa), que indica N/m², ou seja: 1 Pa = 1 N/m². A pressão age sempre de modo normal (perpendicular) à superfície de contato.

Essa unidade é uma homenagem ao filósofo, matemático e teólogo francês Blaise Pascal (1623–1662), por sua contribuição ao desenvolvimento da hidrostática.

Atividades comentadas

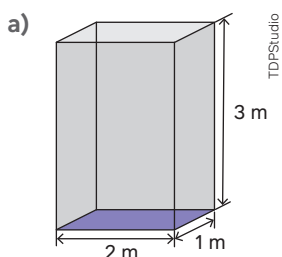
1. Um bloco com formato de paralelepípedo, com peso igual a 1200 N, possui medidas 1 m × 2 m × 3 m. O bloco pode ser apoiado ao chão de três formas diferentes.



Calcule a pressão que o bloco exerce sobre o solo em cada um dos casos.

Resolução

Em cada um dos casos, a pressão depende da força de contato com o fundo do bloco, que é a força Normal e que possui o mesmo valor da força peso, quando o bloco se encontra em equilíbrio.

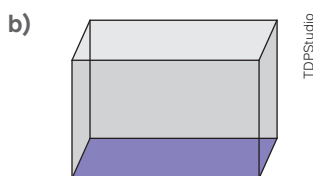


$$p = \frac{F}{A}$$

$$p = \frac{1200 \text{ N}}{2 \cdot 1 \text{ m}^2}$$

$$p = \frac{1200 \text{ N}}{2 \text{ m}^2}$$

$$p = 600 \text{ N/m}^2$$



$$p = \frac{F}{A}$$

$$p = \frac{1200 \text{ N}}{3 \cdot 1 \text{ m}^2}$$

$$p = \frac{1200 \text{ N}}{3 \text{ m}^2}$$

$$p = 400 \text{ N/m}^2$$



$$p = \frac{F}{A}$$

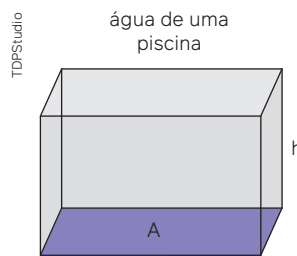
$$p = \frac{1200 \text{ N}}{3 \cdot 2 \text{ m}^2}$$

$$p = \frac{1200 \text{ N}}{6 \text{ m}^2}$$

$$p = 200 \text{ N/m}^2$$

Pressão hidrostática

Quando tratamos de um líquido, sob a ação de um campo gravitacional uniforme, em qualquer ponto do líquido, a pressão provocada por ele se deve à gravidade “puxando” o líquido para baixo. Tomando uma piscina com área de fundo A e profundidade h , como seria a pressão que a água da piscina faz no fundo?

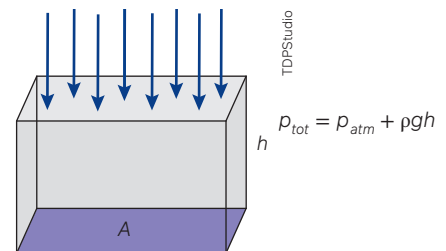


$$\begin{aligned} \rho &= \frac{F}{A} \\ \rho &= \frac{(m \cdot g)}{A} \\ \rho &= \frac{(\rho \cdot v \cdot g)}{A} \\ \rho &= \frac{(\rho \cdot A \cdot h \cdot g)}{A} \\ \rho &= \rho \cdot g \cdot h \end{aligned}$$

Representação de um volume de água de uma piscina, com destaque à área do fundo, e demonstração do cálculo da pressão hidrostática, ou seja, da pressão exercida pela coluna líquida devido ao peso do líquido sobre a área A ao fundo.

Relógios à prova d'água costumam indicar a resistência à água de duas formas: ou na forma de metros (m), indicando a máxima profundidade que se pode submergi-lo sem que a água invada o mecanismo; ou na forma de atmosferas (atm), indicando quantas vezes maior a pressão do líquido pode ser em relação à pressão da atmosfera sem que a água invada o mecanismo.

O valor da pressão atmosférica ao nível do mar é definido como 1 atmosfera (1 atm).



Relógios com indicativos de resistência à pressão da água em metros (A) e em atmosferas (B) e cálculo da pressão total sobre um corpo mergulhado em um líquido, considerando a pressão atmosférica atuante sobre a superfície do líquido.

A pressão da atmosfera é a pressão exercida pelo ar atmosférico, comprimido para baixo pela ação da gravidade do planeta. Vivemos sob essa pressão desde que nascemos. Ao nível do mar, a pressão atmosférica vale aproximadamente 10^5 Pa. Qualquer superfície livre de um líquido está sob essa mesma pressão. Por isso a pressão total em um ponto dentro de um líquido é a pressão hidrostática mais a pressão atmosférica.

$$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$$

Atividades comentadas

- Sabendo que a massa específica da água é 10^3 kg/m^3 , que a aceleração da gravidade é 10 m/s^2 e que a pressão atmosférica é 10^5 Pa , determine a que profundidade um relógio deve estar para que a pressão total sobre ele seja de 2 atm.

Resolução

$$p_{\text{tot}} = p_{\text{atm}} + \rho gh$$

$$2 \text{ atm} = 1 \text{ atm} + \rho gh$$

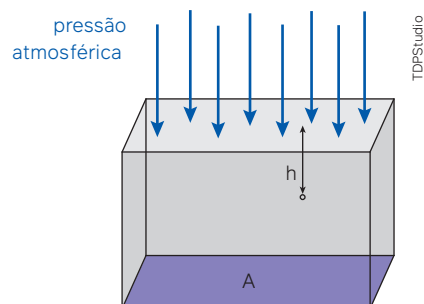
$$2 \text{ atm} - 1 \text{ atm} = \rho gh$$

$$1 \text{ atm} = \rho gh$$

$$10^5 = 10^3 \cdot 10 \cdot h$$

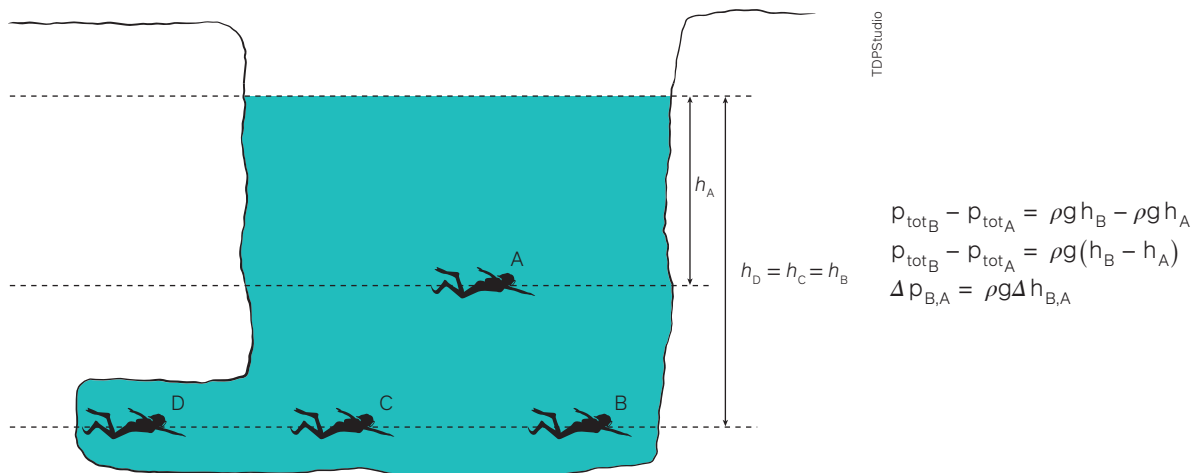
$$\therefore h = 10 \text{ m}$$

A cada 10 m de profundidade, aumenta-se aproximadamente 1 atm.



Teorema de Stevin

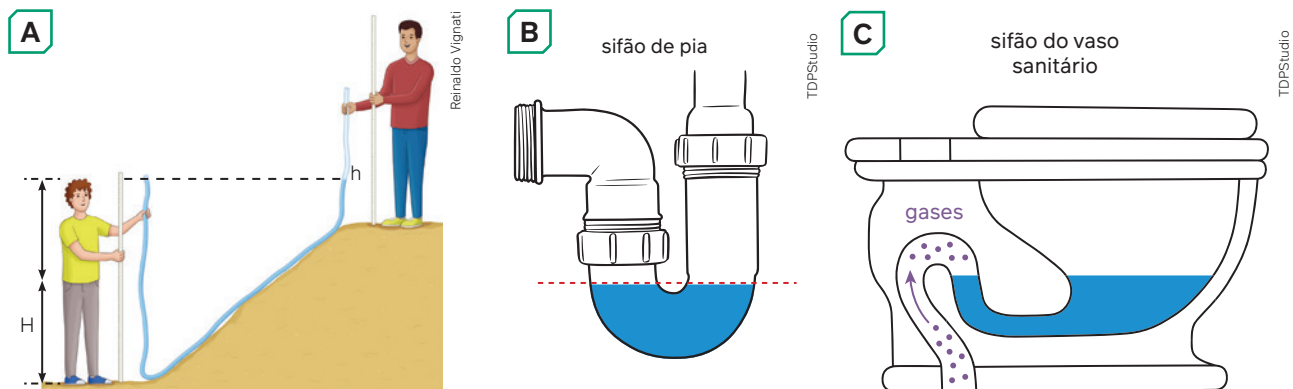
Dentro de um mesmo líquido, dois pontos que estiverem à mesma altura terão necessariamente a mesma pressão. Essa constatação é atribuída ao cientista, teórico musical e filósofo Simon Stevin (1548-1620). Observando os mergulhadores B, C e D da figura a seguir, o senso comum indica que, por haver menos água sobre D, a pressão sobre ele seria menor. Essa é uma concepção cientificamente equivocada muito documentada. E, de fato, a ideia parece paradoxal: independente do formato do corpo submerso ou do recipiente que contém o líquido, a diferença de pressão entre dois pontos dentro de um mesmo líquido só depende da diferença de nível entre esses dois pontos. Então, como B, C e D estão em um mesmo nível, a pressão sobre eles é a mesma. Isto é o que hoje denominamos por Teorema de Stevin. Vejamos o esquema a seguir.



Situação comparativa entre profundidades e pressões e demonstração do Teorema de Stevin.

Vasos comunicantes

A partir do Teorema de Stevin, podemos concluir que, dentro de um mesmo líquido, dois pontos que estiverem em um mesmo nível, ou seja, a uma mesma altura, terão a mesma pressão. E isso pode ser utilizado para construir utensílios – como uma mangueira de nível, utilizada na construção civil, ou um sifão de pia de cozinha, que mantém uma quantidade de líquido em um tubo, evitando que o odor da caixa de gordura retorne ao ambiente.

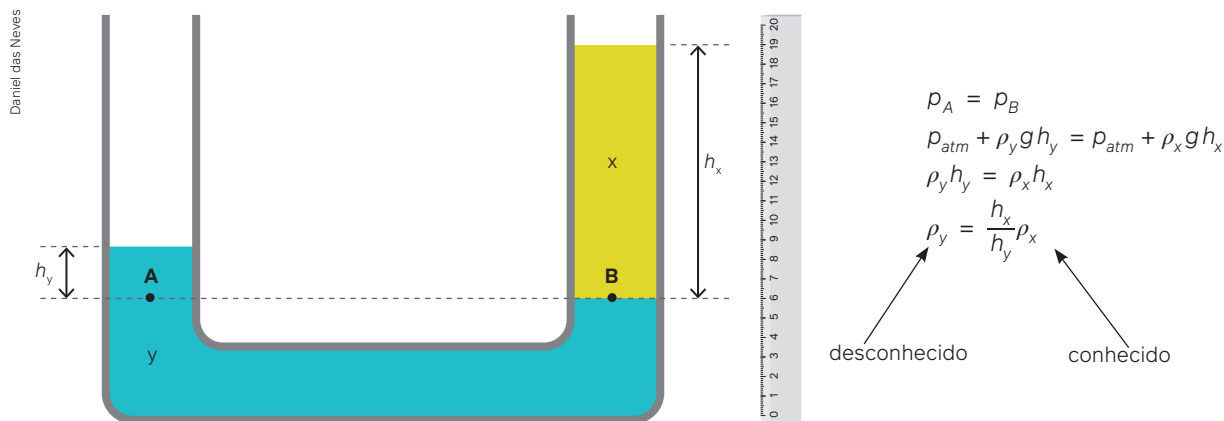


Aplicações do Teorema de Stevin em três situações de vasos comunicantes: em uma mangueira de nível (A), em um sifão de pia (B) e em um vaso sanitário comum (C).

#FicaADica

PhET. Balançando, de University of Colorado. Portal que permite simulações interativas para Ciência, Química, Física e Matemática. Por meio do site, avalie a influência da coluna de líquido na pressão exercida em um ponto utilizando uma simulação computacional. Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/under-pressure/latest/under-pressure_pt_BR.html. Acesso em: 31 ago. 2024.

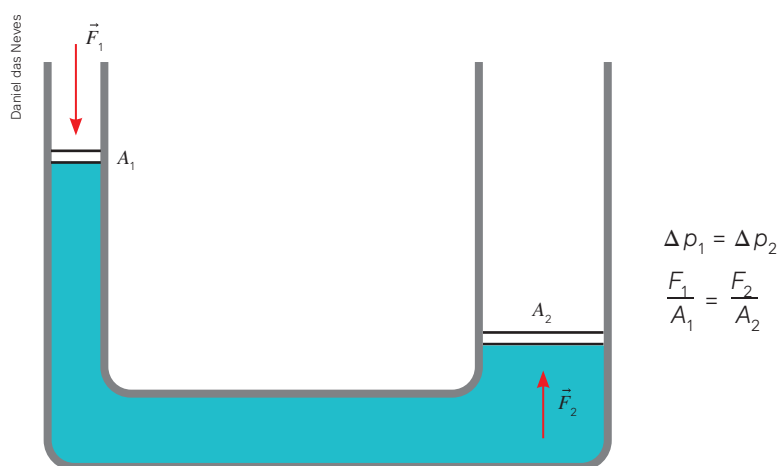
Os vasos comunicantes podem ser utilizados para que líquidos desconhecidos tenham suas densidades determinadas. Considere um líquido X, cuja densidade seja conhecida, e um líquido desconhecido Y. Ao colocarmos ambos os líquidos em um vaso em forma de U aberto, o líquido de menor densidade “flutuará” sobre o líquido de maior densidade. Mas tomando dois pontos, A e B, dentro de um mesmo líquido que estejam na mesma horizontal, teremos pressões iguais. Em cada ramo do tubo, a pressão nos pontos A e B se deve à coluna de líquido acima deles. Caso o tubo esteja aberto em sua parte superior, a pressão atmosférica também exercerá pressão sobre a superfície líquida. Veja na figura a seguir.



Exemplo de uso dos vasos comunicantes para determinação da massa específica de um líquido desconhecido.

Princípio de Pascal

Você já abriu a porta da sala de sua casa e, de repente, ouviu a janela de um quarto, em outro cômodo da casa, balançar? Esse fenômeno físico ocorre porque ao abrirmos a porta promovemos uma mudança de pressão no ar. Uma vez que toda a casa tem ar, há uma mudança de pressão que se propaga por todo o ar da casa e isso balança a janela. Quando temos líquido, isso também ocorre e até de modo mais acentuado. Os líquidos variam muito pouco seu volume, por isso, a variação de pressão promovida em um ponto de um líquido é transferida para todos os pontos do líquido. Isso é o que chamamos de **Princípio de Pascal**, ou princípio da prensa hidráulica. Usando líquidos, é possível erguermos um carro de massa de uma tonelada (ou 10 000 N de peso), usando uma força muito menor que o peso do veículo.

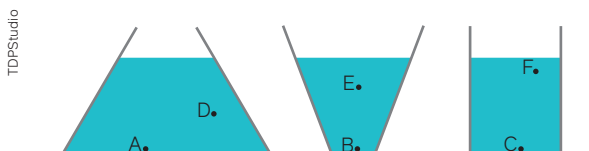


Princípio de funcionamento de uma prensa hidráulica.

Basta construirmos um aparato no qual nós aplicamos uma força pequena em uma área bem pequena, aumentando a pressão no líquido. Em outra região do líquido, onde houver uma área grande, aparecerá uma força grande, uma vez que a variação da pressão deve ser a mesma em todos os pontos do líquido, conforme mostrado anteriormente.

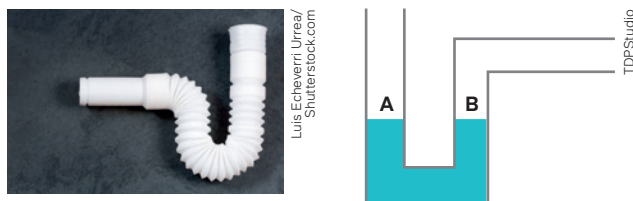


1. Em um elevador hidráulico, para levantar um carro de 900 kg apoiado na área de 1 m², que força deve ser aplicada na área de 2 cm² (equivalente a 0,0002 m²)?
2. Três recipientes diferentes estão cheios de água até o mesmo nível, conforme demonstra a figura. Assinale a opção que contém os pontos de mesma pressão.



- a) A, B, E
- b) A, E, F
- c) A, D, B
- d) A, B, C
- e) A, C, F

3. Um sifão de cozinha é construído para evitar que os odores da caixa de gordura retornem ao ambiente. Um tipo de sifão muito comum consiste em um tubo sanfonado que pode ter seu formato ajustado, conforme mostrado na figura.

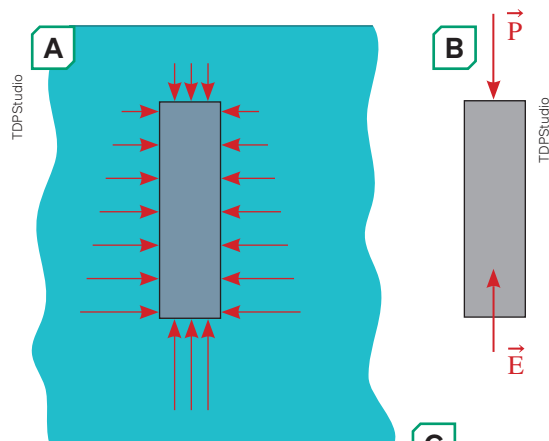


Sobre os pontos **A** e **B**, do líquido dentro da curva do sifão, podemos afirmar que:

- a) terão a mesma pressão se estiverem na mesma altura.
- b) não poderão ter a mesma pressão.
- c) sempre se mantêm desnivelados.
- d) sempre têm pressão maior que a da atmosfera.
- e) nunca têm pressão igual à da atmosfera.

Empuxo

Outra consequência do Teorema de Stevin é que, para um corpo extenso, submerso, quanto mais fundo for, maior será a pressão sobre ele. A diferença de pressão entre a parte superior e inferior promove uma força resultante para cima em qualquer corpo que esteja totalmente ou parcialmente submerso. Essa força vertical para cima, decorrente da diferença de pressão entre a parte mais rasa submersa e a parte mais ao fundo é chamada de **empuxo**, e seu valor de empuxo é igual ao peso do líquido que foi deslocado para que o corpo estivesse submerso. É comum ouvirmos que “dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar no espaço ao mesmo tempo” e é analisando a força de empuxo que esse dito, atribuído a Arquimedes, se faz ver.



Em **(A)**, representação da variação da pressão com a profundidade; em **(B)**, o diagrama de forças para um corpo submerso, e em **(C)**, a equação do cálculo da força de empuxo.

$$E = \rho_{\text{liq}} V_{\text{desloc}} g$$

$$E = m_{\text{liq}} g$$

$$E = \rho_{\text{liq}} V_{\text{liq}} g$$

$$E = \rho V g$$

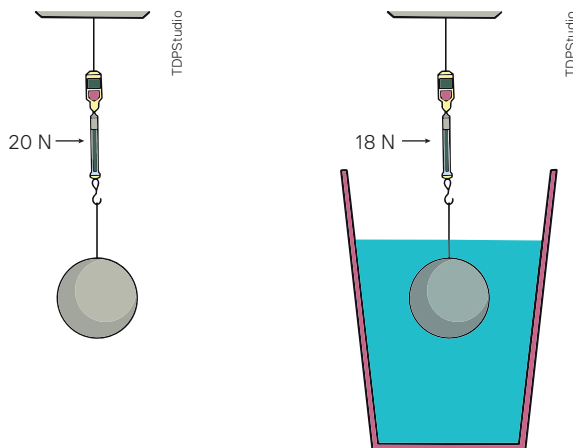
#FicaADica

Mar de plástico – consequências da poluição, de TV Câmara, 3 set. 2018. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/tv/544272-mar-de-plastico-consequencias-da-poluicao/>. Acesso em: 31 ago. 2024.

Matéria com *live* de apresentação e discussão sobre o problema do plástico fluando nos oceanos. Neste capítulo, foram apresentados o empuxo e as forças de líquidos. Podemos usar esses conhecimentos para refletirmos acerca da problemática dos materiais menos densos que a água do mar que formam ilhas de sujeiras à deriva nos oceanos e procurar soluções locais ou globais que mitiguem ou resolvam o problema a curto ou longo prazo.



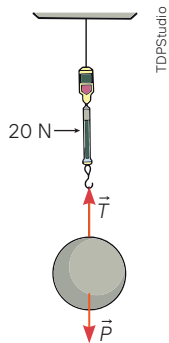
1. Uma bola pendurada em um dinamômetro possui, quando em repouso, peso indicado de 20 N. Mergulhando-a em um recipiente com água, o dinamômetro passa a marcar 18 N.



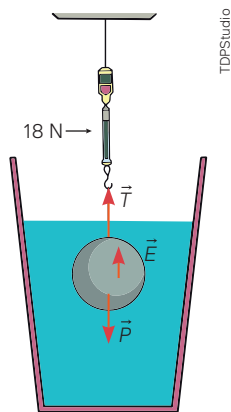
- a) Qual é o valor do empuxo que a água exerce sobre a bola?
 b) Qual é o volume da bola, considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $\rho_{\text{água}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Resolução

a)



$$\begin{aligned} \sum \vec{F} &= \vec{0} \\ \vec{P} + \vec{T} &= \vec{0} \\ T &= P \\ 20 &= P \\ \therefore P &= 20 \text{ N} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \sum \vec{F} &= \vec{0} \\ \vec{P} + \vec{T} + \vec{E} &= \vec{0} \\ T + E &= P \\ 18 + E &= 20 \\ \therefore E &= 2 \text{ N} \end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned} E &= \rho_{\text{liq}} \text{vol}_{\text{liq}_{\text{desloc}}} g \\ E &= 10^3 \cdot V \cdot 10 \\ 2 &= 10^4 \cdot V \\ V &= 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Atividades propostas



1. Um navio de 230 mil toneladas flutua em repouso em um porto. Sabendo que a aceleração da gravidade é $g = 10 \text{ m/s}^2$ e que a densidade da água no porto é 10^3 kg/m^3 , determine o volume de água, em litros, deslocado pelo navio para que essa flutuação fosse possível.
2. Por que uma pessoa flutua mais facilmente na água do mar se comparada à água de rio?
- porque no mar o peso da pessoa é menor.
 - porque no rio o empuxo sobre a pessoa é maior.
 - porque a água do mar é mais densa que a água de rio.
 - porque a aceleração da gravidade age de modo diferente no mar e no rio.
 - essa facilidade é apenas uma sensação que não se verifica na prática.



Neste capítulo, vimos quais são as condições de equilíbrio para corpos sólidos extensos, bem como as consequências de líquidos em equilíbrio hidrostático. Para corpos extensos, é necessário que tanto a força resultante quanto o torque resultante sejam nulos. Para líquidos, a força de empuxo ocorre em todo corpo parcialmente ou completamente submerso, a pressão do líquido aumenta com a profundidade e as variações de pressão em um ponto do fluido são integralmente transmitidas para todos os pontos do fluido incompressível.

Retome as questões que constam na abertura do capítulo, no box **Para refletir**. Com base no que você aprendeu, como responderia a essas questões? Você alteraria alguma resposta?

Atividade: Utilize os conceitos-chave aprendidos neste capítulo para construir um mapa mental.

Conceitos: Torque de uma força, centro de massa, massa específica e densidade, pressão e empuxo.

Desafie-se a responder:

1. Qual é a função do sifão em uma pia e qual é a relação entre o sifão e o Teorema de Stevin?
2. O que sentimos em nossos ouvidos quando mergulhamos muito fundo?

Planeje e resolva



Tempo de reação

Se você já observou uma mosca ou um mosquito voando ao redor, deve ter notado o quão ágeis são ao desviar de obstáculos. Apesar de sua mão ou de um objeto próximo serem muito maiores do que o seu corpo, o excelente desempenho dos animais em termos de percepção de um risco potencial seguido da ação necessária para garantir sua própria segurança é de dar inveja a qualquer ser humano. O mesmo se aplica a muitos animais selvagens, cuja sobrevivência depende da capacidade de responder rapidamente a ameaças. Pesquisas mostram ainda que alguns insetos e pássaros percebem o mundo como se ele funcionasse em câmera lenta. Com isso, observam o ambiente lentamente e em detalhes, para reconhecer e evitar riscos potenciais, aumentando suas chances de sobrevivência. É o que chamamos de vantagem evolutiva, uma vez que essa utilidade garante mais tempo de vida para aqueles que têm esse comportamento, aumentando suas chances de ter mais descendentes.

E os seres humanos? Embora possuamos capacidades cognitivas avançadas, nosso desempenho em tarefas que exigem uma rápida reação a estímulos não é tão eficiente quanto o de muitos animais. Além disso, os humanos tendem a se distrair voluntariamente, mesmo em situações que exigem atenção total. É comum perceber pessoas realizando duas tarefas ao mesmo tempo sendo que ambas demandariam um alto nível de atenção, por exemplo: pedalar escutando música, consultar as redes sociais enquanto caminha. Um conceito que pode ajudar a pensar nesse assunto e, até mesmo, quantificar o risco envolvido em algumas situações é o **tempo de reação**. Tempo de reação ou tempo de resposta é o tempo decorrido entre a percepção de algum evento e a reação para responder adequadamente a ele. Ou seja, é a capacidade de detectar, tratar e responder um estímulo do ambiente. Ela está associada não apenas à idade e a condição física do indivíduo, mas também ao quanto ele está disponível para perceber os eventos e obstáculos ao seu redor.

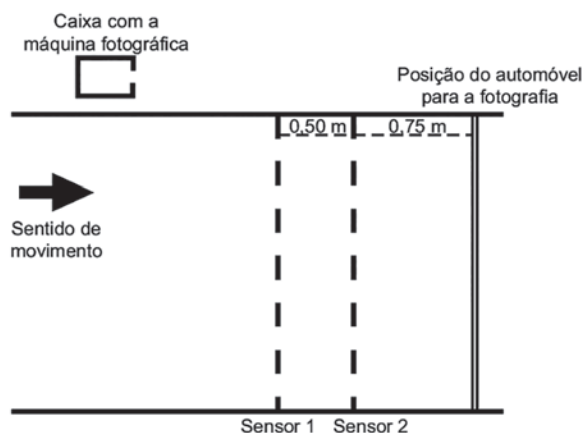
Na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), esse assunto é levado à sério! Um grupo coordenado pelo pesquisador Gustavo Christofoletti do Instituto de Saúde Integrada desenvolve um estudo que avalia os impactos do uso de celulares no equilíbrio dos pedestres.

Agora é com você!

Assim como a equipe da UFMS, planeje e realize uma investigação que permita comparar o tempo de reação dos seus colegas ao realizar uma tarefa com ou sem a utilização do telefone celular. Depois, utilize os resultados encontrados para produzir uma campanha de conscientização de pedestres sobre os riscos relacionados ao seu comportamento e à falta de atenção quando se está no espaço público.



- (Enem – 2017) No Brasil, a quantidade de mortes decorrentes de acidentes por excesso de velocidade já é tratada como uma epidemia. Uma forma de profilaxia é a instalação de aparelhos que medem a velocidade dos automóveis e registram, por meio de fotografias, os veículos que trafegam acima do limite de velocidade permitido. O princípio de funcionamento desses aparelhos consiste na instalação de dois sensores no solo, de forma a registrar os instantes em que o veículo passa e, em caso de excesso de velocidade, fotografar o veículo quando ele passar sobre uma marca no solo, após o segundo sensor. Considere que o dispositivo representado na figura esteja instalado em uma via com velocidade máxima permitida de 60 km/h.



ENEM/2017

No caso de um automóvel que trafega na velocidade máxima permitida, o tempo, em milissegundos, medido pelo dispositivo, é

- 8,3.
 - 12,5.
 - 30,0.
 - 45,0.
 - 75,0.
- (Enem – 2012) Uma empresa de transporte precisa efetuar a entrega de uma encomenda o mais breve possível. Para tanto, a equipe de logística analisa o trajeto desde a empresa até o local da entrega. Ela verifica que o trajeto apresenta dois trechos de distâncias diferentes e velocidades máximas permitidas diferentes. No primeiro trecho, a velocidade máxima permitida é de 80 km/h, e a distância a ser percorrida é de 80 km. No segundo trecho, cujo comprimento vale 60 km, a velocidade máxima permitida é 120 km/h. Supondo que as condições de trânsito sejam favoráveis para que o veículo da empresa ande continuamente na velocidade máxima permitida, qual será o tempo necessário, em horas, para a realização da entrega?
 - 0,7
 - 1,4
 - 1,5
 - 2,0
 - 3,0

- (Enem – 2013) Antes das lombadas eletrônicas, eram pintadas faixas nas ruas para controle da velocidade dos automóveis. A velocidade era estimada com o uso de binóculos e cronômetros. O policial utilizava a relação entre a distância percorrida e o tempo gasto, para determinar a velocidade de um veículo. Cronometrava-se o tempo que um veículo levava para percorrer a distância entre duas faixas fixas, cuja distância era conhecida. A lombada eletrônica é um sistema muito preciso, porque a tecnologia elimina erros do operador. A distância entre os sensores é de 2 metros, e o tempo é medido por um circuito eletrônico. O tempo mínimo, em segundos, que o motorista deve gastar para passar pela lombada eletrônica, cujo limite é de 40 km/h, sem receber uma multa, é de

- 0,05.
 - 11,1.
 - 0,18.
 - 22,2.
 - 0,50.
- (Enem – 2016) Durante a formação de uma tempestade, são observadas várias descargas elétricas, os raios, que podem ocorrer das nuvens para o solo (descarga descendente), do solo para as nuvens (descarga ascendente) ou entre uma nuvem e outra. Normalmente, observa-se primeiro um clarão no céu (relâmpago) e somente alguns segundos depois ouve-se o barulho (trovão) causado pela descarga elétrica. O trovão ocorre devido ao aquecimento do ar pela descarga elétrica que sofre uma expansão e se propaga em forma de onda sonora. O fenômeno de ouvir o trovão certo tempo após a descarga elétrica ter ocorrido deve-se
 - à velocidade de propagação do som ser diminuída por conta do aquecimento do ar.
 - à propagação da luz ocorrer através do ar e a propagação do som ocorrer através do solo.
 - à velocidade de propagação da luz ser maior do que a velocidade de propagação do som no ar.
 - ao relâmpago ser gerado pelo movimento de cargas elétricas, enquanto o som é gerado a partir da expansão do ar.
 - ao tempo de a duração da descarga elétrica ser menor que o tempo gasto pelo som para percorrer a distância entre o raio e quem o observa.
 - (Enem – 2002) As cidades de Quito e Cingapura encontram-se próximas à linha do equador e em pontos diametralmente opostos no globo terrestre. Considerando o raio da Terra igual a 6370 km, pode-se afirmar que um avião saindo de Quito, voando em média 800 km/h, descontando as paradas de escala, chega a Cingapura em aproximadamente
 - 16 horas.
 - 20 horas.
 - 25 horas.
 - 32 horas.
 - 36 horas.

6. (UEA – 2021) O Parque Rio Negro é um local de recuperação ambiental que possui equipamentos para esporte, lazer e eventos artísticos.

UEA, 2020/AGÊNCIA CENARIUM



Com uma velocidade constante de 2,5 m/s, um frequentador desse parque consegue percorrer toda a extensão dos 1 750 m da pista de caminhada e corrida em, aproximadamente,

- a) oito minutos.
b) nove minutos e meio.
c) dez minutos.
d) onze minutos e meio.
e) treze minutos.
7. (CESMAC – 2020) Uma corrida de 10 000 m foi realizada e o corredor vencedor concluiu a prova em 30 min. O corredor que chegou em último lugar correu com velocidade média igual a 40% da velocidade média do corredor vencedor. Calcule o tempo que o último corredor a chegar levou para completar a prova.
- a) 45 min. c) 75 min. e) 105 min.
b) 60 min. d) 90 min.
8. (FCM – 2020) Um automóvel aproxima-se de uma cidade situada a 100 km do local de sua partida, deslocando-se a uma velocidade de 120 km/h. Qual a distância entre o móvel e a cidade após 48 minutos?
- a) 10 km. c) 25 km. e) 6 km.
b) 5 km. d) 4 km.
9. (Fema – 2018) A velocidade máxima em uma estrada foi reduzida de 90 km/h para 60 km/h. Considerando que nessa estrada é possível trafegar no limite da via, pois não há excesso de veículos, a redução da velocidade máxima permitida aumentou o tempo gasto para completar um percurso de 45 km em
- a) 25 min. c) 15 min. e) 30 min.
b) 35 min. d) 20 min.
10. (Enem – 2017) Um motorista que atende a uma chamada de celular é levado à desatenção, aumentando a possibilidade de acidentes ocorrerem em razão do aumento de seu tempo de reação. Considere dois motoristas, o primeiro atento e o

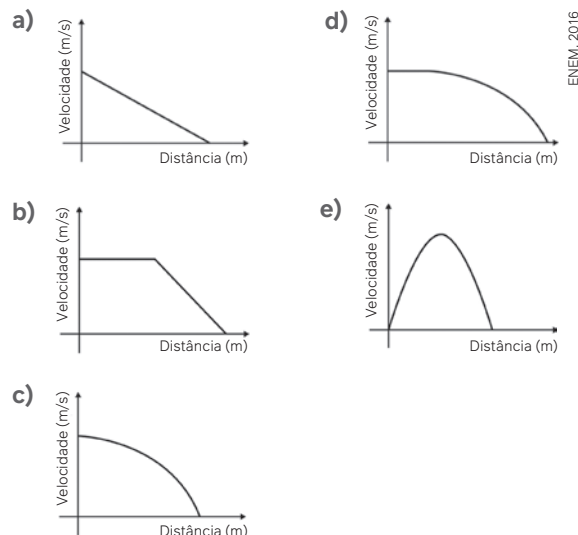
segundo utilizando o celular enquanto dirige. Eles aceleram seus carros inicialmente a 1,00 m/s². Em resposta a uma emergência, freiam com uma desaceleração igual a 5,00 m/s². O motorista atento aciona o freio à velocidade de 14,0 m/s, enquanto o desatento, em situação análoga, leva 1,00 segundo a mais para iniciar a frenagem. Que distância o motorista desatento percorre a mais do que o motorista atento até a parada total dos carros?

- a) 2,90 m. c) 14,5 m. e) 17,4 m.
b) 14,0 m. d) 15,0 m.

11. (Enem – 2013) O trem de passageiros da Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), que circula diariamente entre a cidade de Cariacica, na Grande Vitória, e a capital mineira Belo Horizonte, está utilizando uma nova tecnologia de frenagem eletrônica. Com a tecnologia anterior, era preciso iniciar a frenagem cerca de 400 metros antes da estação. Atualmente, essa distância caiu para 250 metros, o que proporciona redução no tempo de viagem. Considerando uma velocidade de 72 km/h, qual o módulo da diferença entre as acelerações de frenagem depois e antes da adoção dessa tecnologia?

- a) 0,08 m/s² c) 1,10 m/s² e) 3,90 m/s²
b) 0,30 m/s² d) 1,60 m/s²

12. (Enem – 2016) Dois veículos que trafegam com velocidade constante em uma estrada, na mesma direção e sentido, devem manter entre si uma distância mínima. Isso porque o movimento de um veículo, até que ele pare totalmente, ocorre em duas etapas, a partir do momento em que o motorista detecta um problema que exige uma freada brusca. A primeira etapa é associada à distância que o veículo percorre entre o intervalo de tempo da detecção do problema e o acionamento dos freios. Já a segunda se relaciona com a distância que o automóvel percorre enquanto os freios agem com desaceleração constante. Considerando a situação descrita, qual esboço gráfico representa a velocidade do automóvel em relação à distância percorrida até parar totalmente?

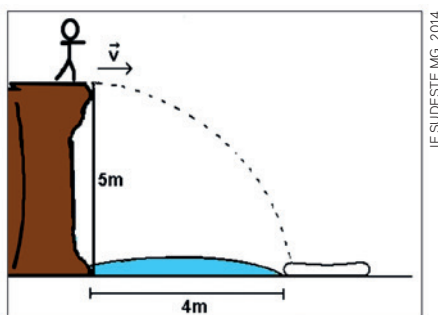


18. (Unesp) Uma pequena esfera rola sobre a superfície plana e horizontal de uma mesa, como mostra a figura a seguir.



Desprezando a resistência do ar, podemos afirmar que, durante o movimento de queda da esfera, após abandonar a superfície da mesa, permanecem constantes:

- a) a aceleração e a força que age na esfera.
 b) a aceleração e a quantidade de movimento.
 c) a velocidade e a força que age na esfera.
 d) a velocidade e a quantidade de movimento.
 e) a velocidade e a aceleração da esfera.
19. (IF Sul de Minas – 2014) Na base de um barranco de 5m de altura, encontra-se uma poça d'água formada pela chuva de 4m de extensão, como mostram os detalhes da figura. Um atleta, treinando saltos, decide pular do topo do barranco, correndo com uma velocidade constante na horizontal \vec{v} , no intuito de chegar à base do barranco, sem atingir a poça d'água, caindo sobre um colchão. Considere a trajetória pontilhada, o caminho pretendido pelo atleta. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$ e despreze os efeitos da resistência do ar.



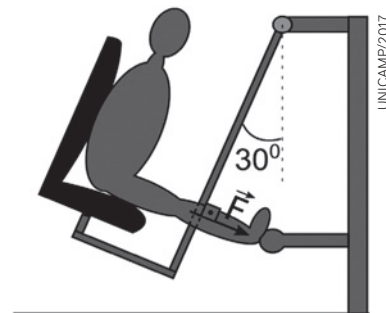
Ele conseguirá realizar seu objetivo se sua velocidade \vec{v} for, no mínimo, igual a:

- a) 20 m/s. c) 5 m/s. e) 5/4 m/s.
 b) 10 m/s. d) 4 m/s.
20. (Unifan – 2018) Em um treinamento do corpo de bombeiros, um homem em alto mar é içado para dentro de um helicóptero através de um cabo. Sabendo que o homem tem 100 kg e que sobe com uma aceleração de $0,5 \text{ m/s}^2$, a tração no cabo será: Considere aceleração da gravidade de 10 m/s^2 .

21. (UFGD – 2012) Para arrastar uma caixa d'água vazia de 12 kg com velocidade constante sobre uma superfície, deve-se aplicar uma força de 50 N. Para arrastar a mesma caixa d'água, porém cheia de água, também à velocidade constante na mesma superfície, deve-se aplicar uma força de 1500 N. Qual é a massa aproximada de água na caixa?

- a) 45 kg c) 228 kg e) 408 kg
 b) 150 kg d) 348 kg

22. (Unicamp – 2017) Hoje é comum encontrarmos equipamentos de exercício físico em muitas praças públicas do Brasil. Esses equipamentos são voltados para pessoas de todas as idades, mas, em particular, para pessoas de terceira idade. São equipamentos exclusivamente mecânicos, sem uso de partes elétricas, em que o esforço consiste usualmente em levantar o próprio peso do praticante. Considere o esquema abaixo, em que uma pessoa de massa $m = 65 \text{ kg}$ está parada e com a perna esticada em um equipamento tipicamente encontrado nessas praças.



O módulo da força \vec{F} exercida pela perna da pessoa em razão de sua massa m é (Se necessário, utilize $g = 10 \text{ m/s}^2$.)

- a) 1300 N. c) 325 N.
 b) 750 N. d) 560 N.

23. (Enem – 2012) Durante uma faxina, a mãe pediu ao filho que a ajudasse, deslocando um móvel para mudá-lo de lugar. Para escapar da tarefa, o filho disse ter aprendido na escola que não poderia puxar o móvel, pois a Terceira Lei de Newton define que se puxar o móvel, o móvel o puxará igualmente de volta, e assim não conseguirá exercer uma força que possa colocá-lo em movimento.

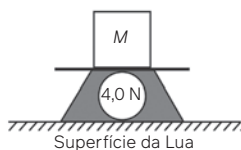
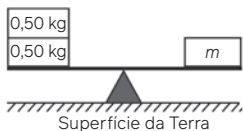
Qual argumento a mãe utilizará para apontar o erro de interpretação do garoto?

- a) A força resultante sobre o móvel é sempre nula.
 b) A força de ação é aquela exercida pelo garoto.
 c) As forças que o chão exerce sobre o garoto se anulam.
 d) O par de forças de ação e reação não atua em um mesmo corpo.
 e) A força de ação é um pouco maior que a força de reação.

24. (Fuvest-SP – 2021) Considere as seguintes afirmações:
- Uma pessoa em um trampolim é lançada para o alto. No ponto mais alto de sua trajetória, sua aceleração será nula, o que dá a sensação de “gravidade zero”.
 - A resultante das forças agindo sobre um carro andando em uma estrada em linha reta a uma velocidade constante tem módulo diferente de zero.
 - As forças peso e normal atuando sobre um livro em repouso em cima de uma mesa horizontal formam um par ação-reação.
 - De acordo com as Leis de Newton:
 - Nenhuma das afirmações é correta.
 - Somente as afirmações I e III são corretas.
 - Somente as afirmações II e III são corretas.
 - Todas as afirmações são corretas.
 - Somente as afirmações I e II são corretas.

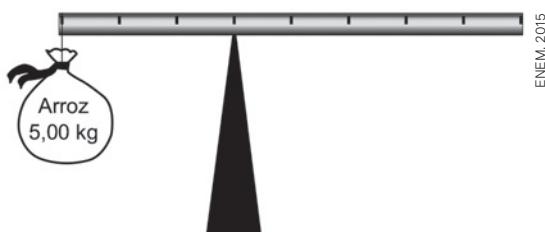
25. (UFRGS – 2017) Aplica-se uma força de 20 N a um corpo de massa m . O corpo desloca-se em linha reta com velocidade que aumenta 10 m/s a cada 2 s. Qual o valor, em kg, da massa m ?

26. (Enem – 2016) A figura mostra uma balança de braços, em equilíbrio, na Terra, onde foi colocada uma massa m , e a indicação de uma balança de força na Lua, onde a aceleração da gravidade é igual a $1,6 \text{ m/s}^2$, sobre a qual foi colocada uma massa M .



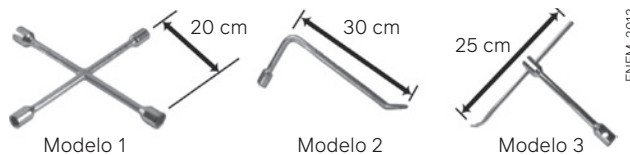
A razão das massas $\frac{M}{m}$ é:

- 4,0.
 - 2,5.
 - 0,4.
 - 1,0.
 - 0,25.
27. (Enem – 2015) Em um experimento, um professor levou para a sala de aula um saco de arroz, um pedaço de madeira triangular e uma barra de ferro cilíndrica e homogênea. Ele propôs que fizessem a mediação da massa da barra utilizando esses objetos. Para isso, os alunos fizeram marcações na barra, dividindo-a em oito partes iguais e, em seguida, apoiaram-na sobre a base triangular, com o saco de arroz pendurado em uma de suas extremidades, até atingir a situação de equilíbrio.



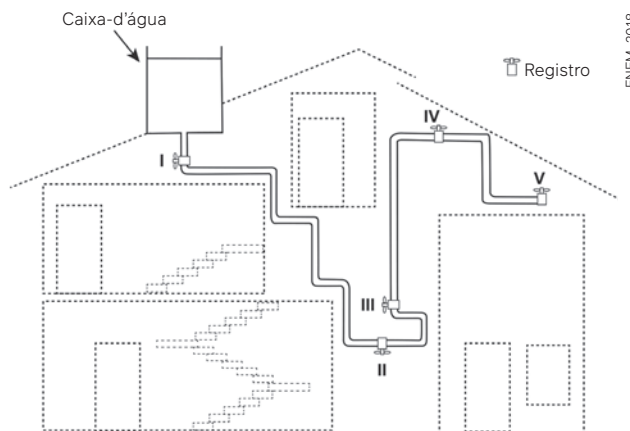
Nessa situação, qual foi a massa da barra obtida pelos alunos?

- 3,00 kg.
 - 3,75 kg.
 - 5,00 kg.
 - 6,00 kg.
 - 15,00 kg.
28. (Enem – 2013) Retirar a roda de um carro é uma tarefa facilitada por algumas características da ferramenta utilizada, habitualmente denominada chave de roda. As figuras representam alguns modelos de chaves de roda:



Em condições usuais, qual desses modelos permite a retirada da roda com mais facilidade?

- 1, em função de o momento da força ser menor.
 - 1, em função da ação de um binário de forças.
 - 2, em função de o braço da força aplicada ser maior.
 - 3, em função de o braço da força aplicada poder variar.
 - 3, em função de o momento da força produzida ser maior.
29. (Enem – 2018) A figura apresenta o esquema do encanamento de uma casa onde se detectou a presença de vazamento de água em um dos registros. Ao estudar o problema, o morador concluiu que o vazamento está ocorrendo no registro submetido à maior pressão hidrostática.



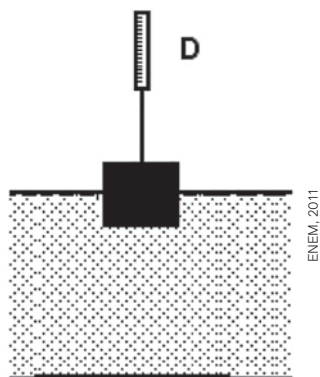
Em qual registro ocorria o vazamento?

- I
- II
- III
- IV
- V

30. (Enem – 2012) Um dos problemas ambientais vivenciados pela agricultura hoje em dia é a compactação do solo, devido ao intenso tráfego de máquinas cada vez mais pesadas, reduzindo a produtividade das culturas.

Uma das formas de prevenir o problema de compactação do solo é substituir os pneus dos tratores por pneus mais

- largos, reduzindo a pressão sobre o solo.
 - estreitos, reduzindo a pressão sobre o solo.
 - largos, aumentando a pressão sobre o solo.
 - estreitos, aumentando a pressão sobre o solo.
 - altos, reduzindo a pressão sobre o solo.
31. (Enem – 2011) Em um experimento realizado para determinar a densidade da água de um lago, foram utilizados alguns materiais conforme ilustrado: um dinamômetro D com graduação de 0 N a 50 N e um cubo maciço e homogêneo de 10 cm de aresta e 3 kg de massa. Inicialmente, foi conferida a calibração do dinamômetro, constatando-se a leitura de 30 N quando o cubo era preso ao dinamômetro e suspenso no ar. Ao mergulhar o cubo na água do lago, até que metade do seu volume ficasse submersa, foi registrada a leitura de 24 N no dinamômetro.



Considerando que a aceleração da gravidade local é de 10 m/s^2 , a densidade da água do lago, em g/cm^3 , é

- 0,6.
 - 1,2.
 - 1,5.
 - 2,4.
 - 4,8.
32. (Enem – 2013) Para oferecer acessibilidade aos portadores de dificuldades de locomoção, é utilizado, em ônibus e automóveis, o elevador hidráulico. Nesse dispositivo é usada uma bomba elétrica, para forçar um fluido a passar de uma tubulação estreita para outra mais larga, e dessa forma acionar um pistão que movimenta a plataforma. Considere um elevador hidráulico cuja área da cabeça do pistão seja cinco vezes maior do que a área da tubulação que sai da bomba. Desprezando o atrito e considerando uma aceleração gravitacional de 10 m/s^2 , deseja-se elevar uma pessoa de 65 kg em uma cadeira de rodas de 15 kg sobre a plataforma de 20 kg.

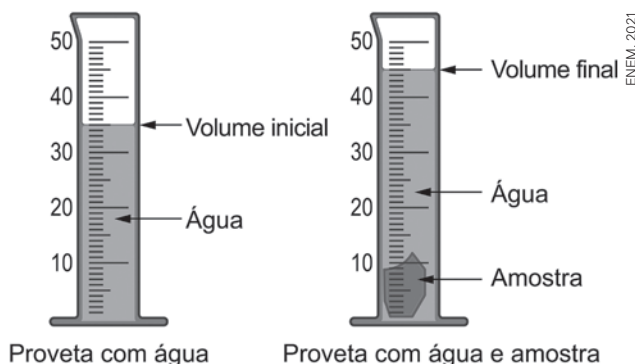
Qual deve ser a força exercida pelo motor da bomba sobre o fluido para que o cadeirante seja elevado com velocidade constante?

- 20 N
 - 100 N
 - 200 N
 - 1000 N
 - 5000 N
33. (UE-PI) A existência de empuxo é um fenômeno observado:
- tanto em gases quanto em líquidos.
 - apenas em substâncias líquidas.
 - apenas em materiais sólidos.
 - apenas na atmosfera terrestre.
 - apenas na água.

34. (UFPR – 2017) Um objeto sólido, com massa de 600 g e volume de 1 litro, está parcialmente imerso em um líquido, de maneira que 80% do seu volume está submerso. Considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 , assinale a alternativa que apresenta a massa específica do líquido.

- $0,48 \text{ g/cm}^3$
- $0,75 \text{ g/cm}^3$
- $0,8 \text{ g/cm}^3$
- $1,33 \text{ g/cm}^3$
- $1,4 \text{ g/cm}^3$

35. (Enem – 2021) A densidade é uma propriedade que relaciona massa e volume de um material. Um estudante iniciou um procedimento de determinação da densidade de uma amostra sólida desconhecida. Primeiro ele determinou a massa da amostra, obtendo 27,8 g. Em seguida, utilizou uma proveta, graduada em mililitro, com água para determinar o volume da amostra, conforme esquematizado na figura. Considere a densidade da água igual a 1 g/mL .



A densidade da amostra obtida, em g/mL , é mais próxima de

- 0,36.
- 0,56.
- 0,62.
- 0,79.
- 2,78.

O desenvolvimento humano criou, ao longo dos séculos, a necessidade de cada vez se inovar mais no uso de energia, porém, toda geração de energia causa impactos ambientais e é necessário mitigá-los para evitar danos ao nosso planeta que podem repercutir em nossa saúde e qualidade de vida.

Lucca Navarro



Energia e princípios da conservação

Os diferentes modos de vida contemporâneos estão profundamente ligados à produção e ao consumo dos mais diferentes tipos de energia. A utilização de processos de transferência e conversão de energia para realização de trabalho útil ao ser humano pode ser vista desde a antiguidade, com o uso de tração animal, por exemplo. No entanto, desde a Revolução Industrial, a mecanização da produção de bens de consumo ampliou muito a demanda da humanidade por energia. Em uma primeira fase da Revolução Industrial, a energia térmica foi a fonte principal, com as máquinas a vapor. Depois, com o avanço no conhecimento sobre aspectos do eletromagnetismo, as máquinas a vapor foram substituídas por máquinas elétricas, que até hoje estão presentes nas mais variadas indústrias.

Hoje em dia, além das indústrias, carregamos as baterias de celulares com energia elétrica; em grandes centros urbanos, a presença de carros elétricos já não é algo estranho. A lista não se encerra, pois para qualquer aspecto da vida que olhemos, podemos identificar a transformação e o uso da energia.

Consulte no Manual do Professor as orientações, respostas e comentários referentes às atividades e aos conteúdos desta unidade e seus capítulos.

▼ Para começar

1. As transformações de energia ocorrem na natureza mesmo em situações que não envolvem a ação humana. Você consegue apresentar ao menos dois processos de transformação de energia na natureza?
2. Como você interpreta a frase “não temos planeta B” que é um trocadilho da frase “não temos plano B”?

Conversão, transferência e conservação de energia



yanik88/Shutterstock.com

A energia é um termo que permeia o dia a dia de todos. Mais que isso, é um conceito que está presente em praticamente tudo ao redor, desde o que é usado para se movimentar até a iluminação do Sol.

▼ Para refletir

1. De onde vem a energia que usamos para nos mover?
2. E a energia que utilizamos para que aparelhos eletrônicos, como TV ou celular, funcionem?
3. Um objeto que cai de uma certa altura tem algum tipo de energia?

Objetivos do capítulo

- Investigar as diferentes fontes e tipos de energia e sua relação com a contemporaneidade.
- Conhecer o trabalho mecânico e seu modelo matemático de cálculo.
- Analisar situações cotidianas na perspectiva do trabalho e da energia mecânica.
- Aplicar o conceito de forças conservativas para analisar o trabalho da força em diferentes deslocamentos de objetos.
- Conhecer as principais manifestações da energia mecânica.
- Aplicar o teorema da energia cinética e o princípio da conservação da energia mecânica para resolver situações-problema em sistemas inerciais.
- Avaliar o uso de diferentes fontes de energia no transporte de materiais.

Tipos e fontes de energia

Quando buscamos entender os processos energéticos envolvidos em determinado acontecimento da natureza ou da tecnologia, umas das primeiras coisas que percebemos é que a energia é detectada por alguma transformação. Observando as imagens, vemos alguns aparatos tecnológicos nos quais as transformações de energia são detectadas.



Grindstone Media Group/Shutterstock.com

queima de combustível → movimento do carro



Miroslav Kresac/Shutterstock.com

vaporização da água → movimento da locomotiva



ImYanis/Shutterstock.com

reação química na bateria → luz dos pixels na tela



João Prudente/Pulsar Imagens

luz do Sol → corrente elétrica



Andre Dib/Pulsar Imagens

massa d'água represada → movimento das turbinas

Exemplos de transformações energéticas em situações tecnológicas cotidianas.

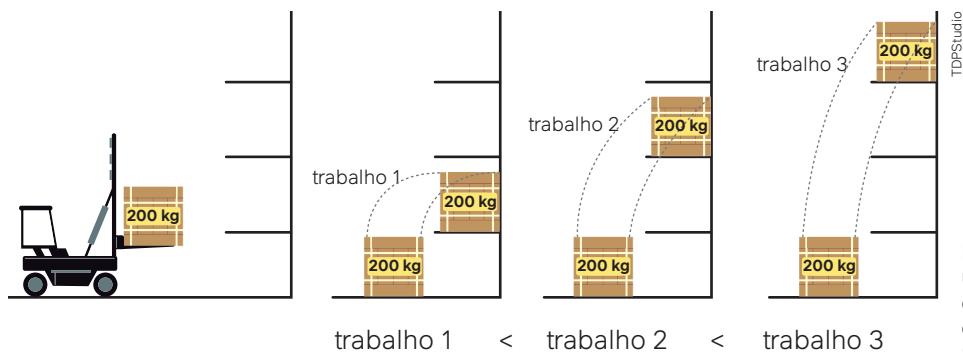
As imagens anteriores mostram diferentes manifestações de energia: a energia do movimento, a energia química, a energia da luz, a energia da água represada e a energia do aquecimento. Além delas, podemos, ainda, identificar outras formas de energia que não foram mostradas. Afinal, o que podemos identificar de comum a essas diferentes energias? O que torna cada uma delas única e ao mesmo tempo conversível em outras?



Infográfico clicável
Hidrogênio verde: uma opção sustentável

Trabalho

Uma das formas de identificar a energia é por meio de sua relação com o trabalho mecânico. Podemos pensar no trabalho mecânico como sendo uma junção entre a força aplicada e o deslocamento que essa força provocou. Muita força promovendo grande deslocamento, implica um grande trabalho mecânico; menos força associada a um trabalho mecânico menor, implica menor trabalho.



Empilhadeira erguendo um bloco de 200 kg e três situações com distintos trabalhos mecânicos realizados.

Se uma empilhadeira precisar erguer um corpo de 200 kg para colocá-lo em uma estante, sua força aplicada poderá realizar mais trabalho ou menos trabalho a depender do quanto ela precisa deslocar esse corpo. No terceiro caso da figura anterior, no “trabalho 3”, o corpo levado à maior altura implica em maior trabalho realizado, ou seja, em maior demanda por energia mecânica para que o corpo seja levado até sua posição final.

Transporte de carga e trabalho realizado por animais

Texto 1

O Tropeirismo

O Tropeirismo [...] em Sorocaba teve início por volta de 1750 com a instalação do Registro de Animais em Sorocaba, tornando-se uma sistemática passagem de tropas xucras ou arreadas e, conseqüentemente, a realização de grandes feiras, famosas em todo o país e que, normalmente, duravam de dois a três meses. Isso se deve a localização privilegiada de Sorocaba.

Caracterizou-se pelo uso generalizado do lombo de animal, equino ou muar – especialmente este – para o transporte de cargas. O que hoje é feito por caminhões, era, então, feito por esses animais. Eram as tropas arreadas, um conjunto de 8 a 10 animais, equipados com cangalhas, nas quais eram penduradas as canastras e/ou bruacas, contendo mercadorias.

O tropeiro tornou-se o responsável direto pela circulação de produtos destinados à exportação e pelo abastecimento das regiões interioranas. Era, ainda, o emissário oficial, transmissor de notícias, intermediário de negócios e protetor dos viajantes, além disso, também traziam do sul do país até Sorocaba tropas xucras ou soltas, que eram domadas por famosos peões e vendidas nas feiras realizadas. [...]

PREFEITURA DE SOROCABA. *O tropeirismo*. Sorocaba: Prefeitura de Sorocaba, 1 maio 2024. Disponível em: <https://cultura.sorocaba.sp.gov.br/casaraobrigadeirotobias/otropeirismo>. Acesso em: 8 ago. 2024.

Texto 2

Projeto criminaliza o uso de veículos movidos a tração animal

Texto também proíbe o uso de animais em apresentações circenses

O Projeto de Lei 176/23 criminaliza o uso de veículos movidos a tração animal e de animais para transportar cargas, com pena de reclusão de 1 a 4 anos, além de multa. O texto altera a Lei de Crimes Ambientais.

Se o crime resultar na morte do animal, a pena será de reclusão, de 3 a 8 anos, bem como multa. Se resultar em ofensa à integridade física ou psicológica do animal, a pena será de reclusão, de 2 a 5 anos, e multa.

“O fato de um animal puxar carroça morro acima, muitas vezes levando chibatadas e carregando várias vezes o próprio peso, se materializa em uma conduta que merece condenação penal”, defendem os autores, deputado Delegado Matheus Laiola (União-PR) e deputado licenciado Delegado Bruno Lima (SP), no texto que acompanha o projeto.

Círculo

O texto em análise na Câmara dos Deputados também proíbe o uso de animais em apresentações de circos tanto presenciais quanto transmitidas pela internet. A pena será de reclusão, de 2 a 5 anos, e multa, a qual será dobrada se resultar em morte do animal. Hoje, a proibição ao uso de animais nesse tipo de espetáculo é regulada por legislação estadual.

Tramitação

A proposta ainda será despachada para análise pelas comissões permanentes da Câmara.

BRASIL, E. Projeto criminaliza o uso de veículos movidos a tração animal. *Agência Câmara de Notícias*, 15 fev. 2023, Brasília, DF. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/937756-projeto-criminaliza-o-uso-de-veiculos-movidos-a-tracao-animal>. Acesso em: 8 ago. 2024.

Coletânea Charles Wiener, Arquivos Diplomáticos, Quai d'Orsay, Paris



Tropas de burros em Minas Gerais, possivelmente entre 1880 e 1882 (A); e transporte de cargas em veículos com tração animal nos dias atuais, Pão de Açúcar (AL), 2023 (B).



Adriano Kirihamo/Pulsar Imagens

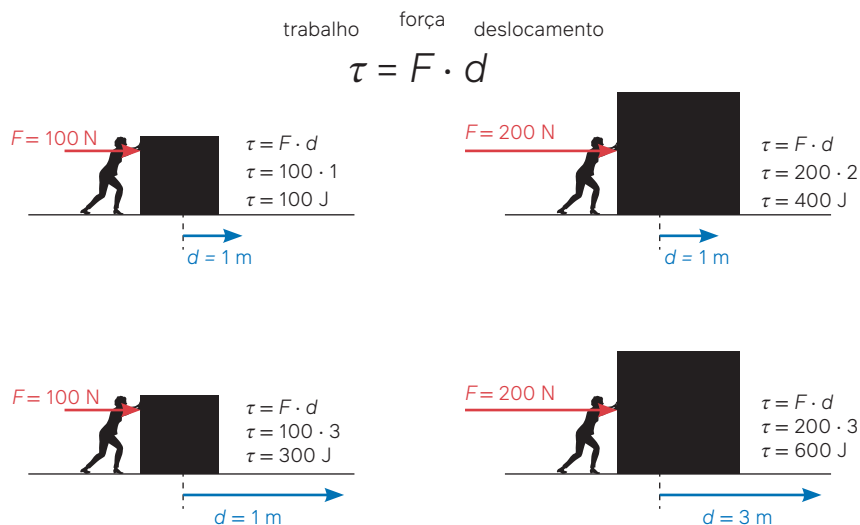
Trocando ideias

- Os textos lidos na página anterior se referem a dois momentos distintos do desenvolvimento social brasileiro: um, até há aproximadamente 100 anos, quando a produção agrícola escoava sob os lombos de tropas de animais; outro, atual, em que os legisladores buscam regulamentar ou proibir o uso de veículos movidos a tração animal. Como você avalia o trabalho mecânico realizado no caso do transporte de cargas em carroças e cargas em tropas de equinos?
- Considerando o Projeto de Lei nº 176/23, como a proibição do uso de animais em apresentações de circos, tanto presenciais quanto transmitidas pela internet, pode ser interpretada como uma medida que reflete preocupações com a ética e o respeito aos animais na sociedade brasileira?
- Em contrapartida aos maus tratos aos animais, há também a subsistência de trabalhadores que vivem do frete em animais. Considerando ambos os problemas, como o projeto de lei citado pode acomodar essas demandas em conflito?

Cálculo do trabalho mecânico

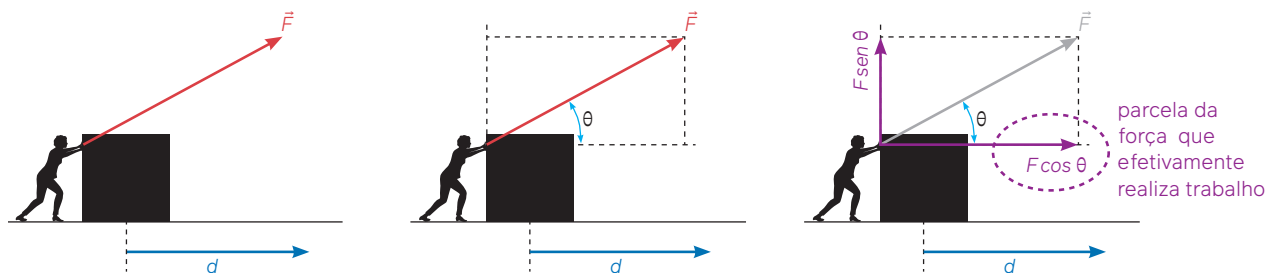
O trabalho mecânico, representado pela letra τ do alfabeto grego (lê-se “tau”), indica a quantidade de energia transferida quando uma força promove um deslocamento em um corpo. O trabalho e a energia possuem a mesma unidade de medida no Sistema Internacional de Unidades (SI): joule (J).

Do ponto de vista matemático, o trabalho é dado pelo produto da força aplicada a um corpo pelo deslocamento promovido nesse corpo. Isso fornece a energia utilizada para promover esse deslocamento.



Equação do trabalho mecânico com quatro situações distintas de trabalhos realizados pela força que empurra a caixa.

Em alguns casos, força e deslocamento podem não estar na mesma direção e isso exigirá, para a correta caracterização da força que realiza o trabalho, a decomposição da força em componentes paralelos ao deslocamento e perpendiculares ao deslocamento:

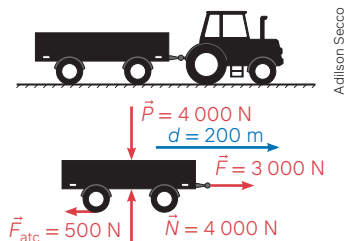


Realização de trabalho com decomposição da força.

O cálculo tem a mesma lógica, porém, somente a parcela da força que efetivamente está associada ao deslocamento é que será considerada na obtenção do trabalho realizado.

Atividades comentadas

1. Um pequeno trator puxa uma carroça com uma força de 3000 N, na horizontal e para a direita, deslocando-a 200 m na mesma direção e no mesmo sentido da força. Durante todo o deslocamento, também atuam na carroça: a força peso, de 4000 N, na vertical e para baixo; a força normal, também de 4000 N, na vertical e para cima; e uma força de atrito de 500 N, na horizontal e para a esquerda.



Faça o que se pede. Determine:

- o trabalho da força F que exerce sobre a carroça;
- o trabalho da força normal N ;
- o trabalho da força peso P ;
- trabalho da força de atrito;
- a soma de todos os trabalhos exercidos;
- a força resultante e determine o trabalho dela no deslocamento da carroça. Compare seu resultado com o resultado encontrado no item anterior.

Resolução

- a) Para o trabalho da força \vec{F} , temos:

$$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta \Rightarrow \tau_F = 300 \cdot 200 \cdot \cos 0^\circ \Rightarrow \tau_F = 300 \cdot 200 \cdot 1 \therefore \tau_F = 600\,000 \text{ J}$$

- b) Para o trabalho da força normal \vec{N} , temos:

$$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta \Rightarrow \tau_N = N \cdot d \cdot \cos 90^\circ \Rightarrow \tau_N = 4000 \cdot 200 \cdot 0 \therefore \tau_N = 0$$

Para forças cuja direção é perpendicular ao deslocamento, o trabalho é zero.

- c) Para o trabalho da força peso \vec{P} , temos:

$$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta \Rightarrow \tau_P = P \cdot d \cdot \cos 90^\circ \Rightarrow \tau_P = 4000 \cdot 200 \cdot 0 \therefore \tau_P = 0$$

Assim como o trabalho da força normal \vec{N} , o trabalho da força peso \vec{P} é zero pelo mesmo motivo.

- d) Para o trabalho da força de atrito, temos:

$$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta \Rightarrow \tau_{F_{\text{at}}} = F_{\text{at}} \cdot d \cdot \cos 180^\circ \Rightarrow \tau_{F_{\text{at}}} = 500 \cdot 200 \cdot -1 \therefore \tau_{F_{\text{at}}} = -100\,000 \text{ J}$$

O trabalho da força de atrito é negativo porque ele tem sentido contrário ao deslocamento, ou seja, ele "atrapalha" o deslocamento.

- e) A soma de todos os trabalhos exercidos é dada por: $\tau_{\text{total}} = \tau_F + \tau_P + \tau_N + \tau_{F_{\text{at}}}$

$$\tau_{\text{total}} = 600\,000 + 0 + 0 - 100\,000 \therefore$$

$$\tau_{\text{total}} = 500\,000 \text{ J}$$

- f) A força resultante é a diferença entre os módulos de \vec{F} e de \vec{F}_{at} , uma vez que peso (\vec{P}) e normal (\vec{N}) se anulam. Então a força resultante é $3000 - 500 = 2500 \text{ N}$, horizontal e para a direita.

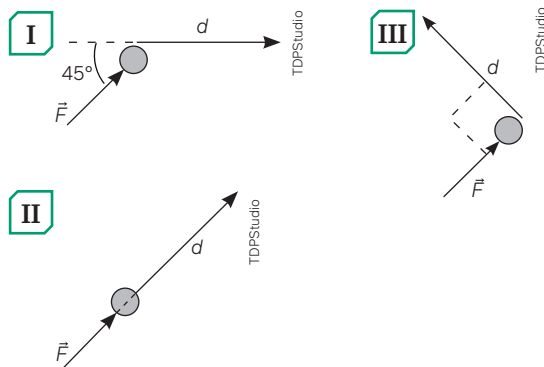
$$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta \Rightarrow \tau_{F_R} = F_R \cdot d \cdot \cos 0^\circ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau_{F_R} = 2500 \cdot 200 \cdot 1 \therefore \tau_{F_R} = 500\,000 \text{ J}$$

Comparando os resultados, vemos que o trabalho da força resultante é igual à soma de todos os trabalhos realizados.

2. Uma força \vec{F} é aplicada a um corpo que se desloca uma distância \vec{d} , em três situações distintas.

Podemos afirmar que:



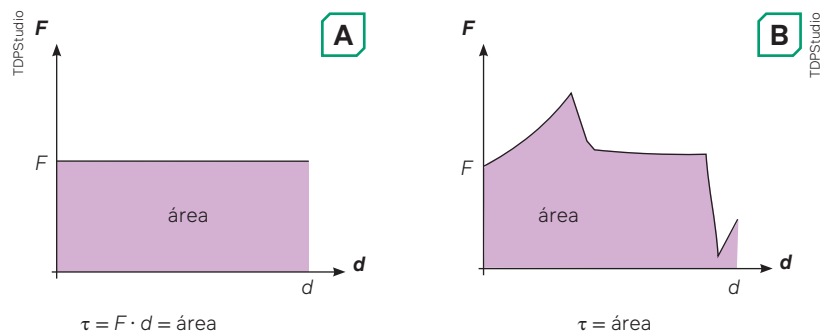
- o trabalho realizado é igual nos três casos.
- o trabalho realizado pela força \vec{F} é maior no caso III.
- o trabalho realizado nos casos II e III são iguais.
- o trabalho realizado no caso II é o menor dos três.
- o trabalho realizado no caso III é zero.

Resolução

A alternativa **a** está incorreta, pois o ângulo entre a força e o deslocamento dos três casos é diferente, logo, o trabalho também é diferente. A opção **b** está incorreta, pois o trabalho realizado no caso III é zero, já que a força e o deslocamento são perpendiculares. O item **c** está incorreto, pelo mesmo motivo de **a**. A opção **d** está incorreta, pois o menor trabalho entre os três casos é o III. A alternativa **e** está correta. No caso III, o ângulo formado entre a força aplicada e o deslocamento é 90° e, por isso, o trabalho realizado é nulo ($\cos 90^\circ = 0$).

Trabalho realizado e sua representação gráfica

O trabalho de uma força pode ser visto em gráficos que forneçam valores da força aplicada em deslocamento envolvido. Para o caso de uma força constante, fica evidente que o produto da força pelo deslocamento fornece o trabalho e é, ao mesmo tempo, a área sob a curva do gráfico **(A)**. A área do gráfico $F \cdot d$, no entanto, representa o valor do trabalho realizado mesmo que a força seja variável **(B)**.



Trabalho de uma força calculado pela área do gráfico $F \cdot d$, em situações de força constante **(A)** e em situações de força variável **(B)**.

Aparelhos da academia e trabalho mecânico

Em alguns casos, forças que já conhecemos, como peso, força elástica e atrito, possuem resultados peculiares no cálculo do trabalho mecânico. Em uma academia de ginástica, diferentes formas de trabalho mecânico são utilizadas para que nós, humanos, consumamos energia do alimento em troca de deslocarmos pesos nos aparelhos, figura **(A)**, ou de puxarmos elásticos, figura **(B)**.

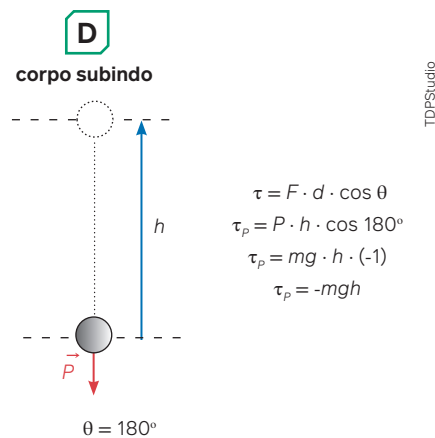
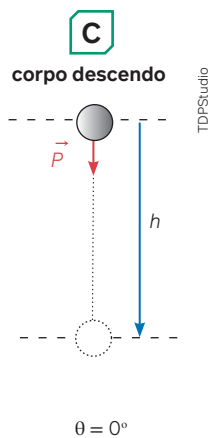
Nos dois casos mostrados nas imagens **(A)** e **(B)**, a malhação se dá pelo deslocamento de pesos – o que envolve o trabalho da força peso – e pela distensão de um elástico – o que envolve o trabalho da força elástica.

Sobre o trabalho da força peso, um corpo descendo tem seu movimento ajudado pelo peso: o trabalho do peso será um **trabalho potente** e terá resultado positivo durante a descida. Matematicamente, isso ocorre porque, para um corpo que desce, o ângulo entre o peso e o deslocamento é 0° , figura **(C)**.

Já para erguermos um corpo, teremos o trabalho da força peso resistindo a esse deslocamento, uma vez que o ângulo entre a força e o deslocamento é 180° , figura **(D)**. Como consequência, o trabalho da força peso para um corpo que sobe é um **trabalho resistente**, e seu valor será negativo.

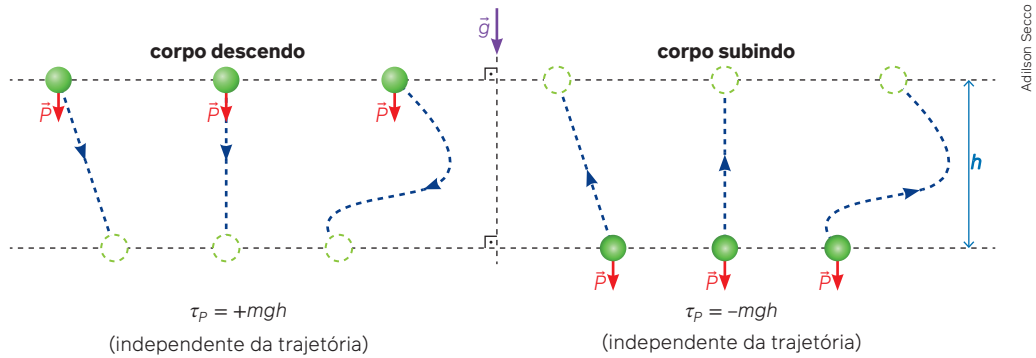


Pessoa puxando pesos em um aparelho de ginástica **(A)** e pessoa puxando um elástico **(B)**.



Trabalho da força peso em diferentes situações.

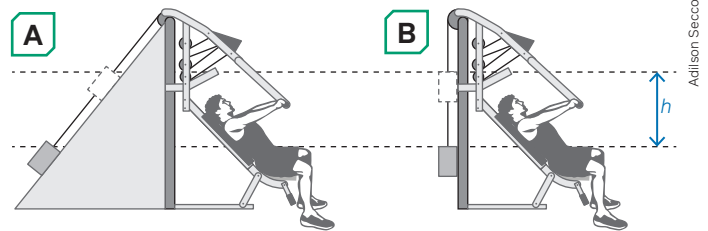
Uma característica do trabalho da força peso é que o peso atua como uma das forças que chamamos de “força conservativa”. As forças conservativas (o peso, a força elétrica e outras) têm seus trabalhos realizados independentemente da trajetória percorrida.



Trabalho da força peso independente da trajetória, mas dependente da diferença de altura na linha do campo gravitacional.

No caso de aparelhos de academia, o trabalho realizado é o mesmo se o peso subir verticalmente ou se o peso subir apoiado em uma rampa.

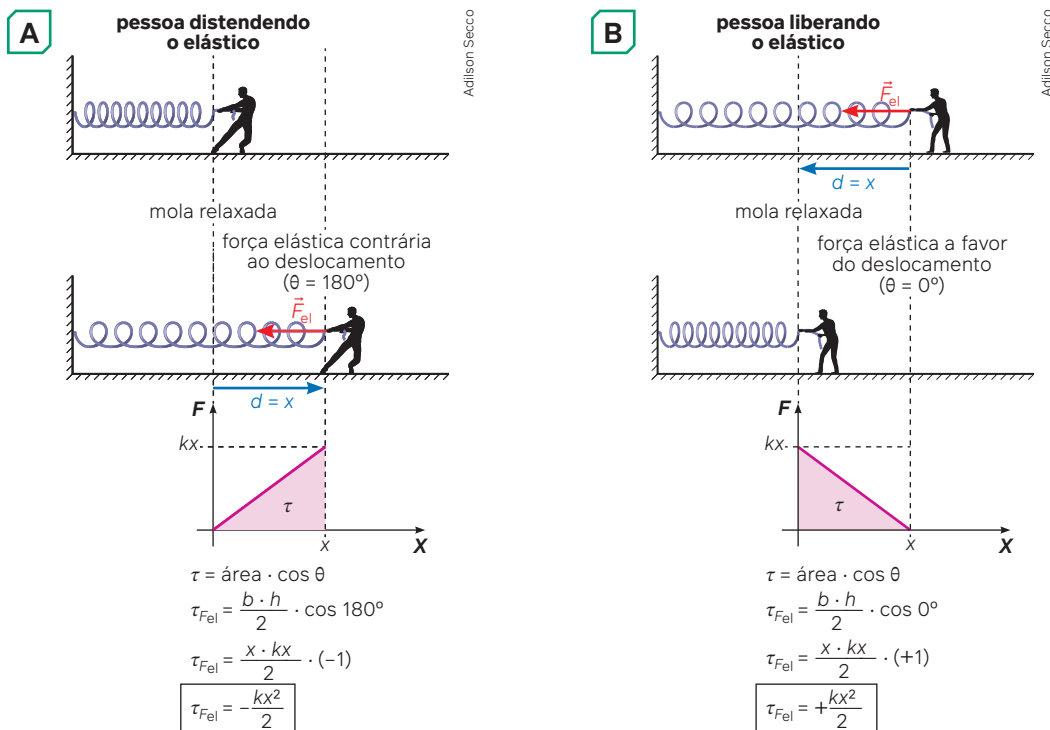
Mesmo que a pessoa da figura exerça menos força ao puxar o bloco no caso (A), o bloco se deslocará uma distância maior; enquanto no caso (B), exerce-se mais força com um menor deslocamento do bloco. Ao final, o trabalho realizado pela força peso ao erguer o bloco tem o mesmo valor e é dado por $\tau = -mgh$ nos dois casos.



Pessoa malhando erguendo um peso sobre um plano inclinado (A) e verticalmente (B).

No caso de uma pessoa treinando e puxando um elástico, há realização de trabalho da força elástica.

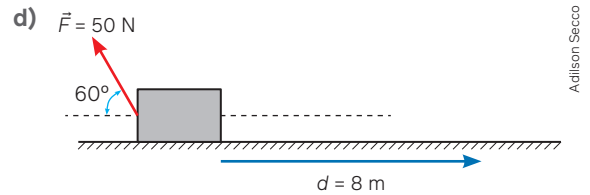
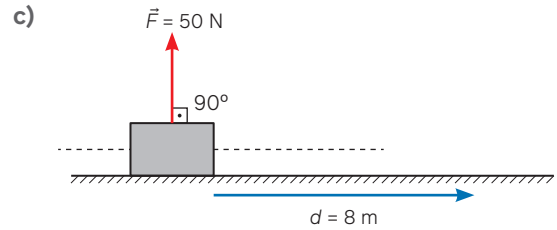
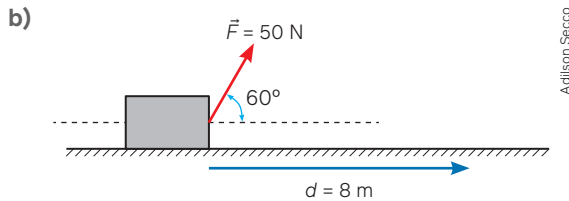
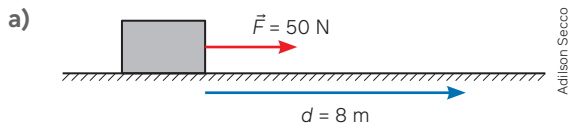
O trabalho da força elástica pode ser potente (positivo, quando a força elástica se dá no sentido do deslocamento) ou resistente (negativo, quando a força elástica se dá contrária ao sentido do deslocamento). Uma pessoa treinando e puxando um elástico tem dois movimentos: primeiro ela distende o elástico e depois ela devolve lentamente o elástico à posição relaxada. Um elástico funciona como uma mola: quanto maior a força, maior sua distensão. Por isso, temos um caso de força variável: o cálculo do trabalho se dá pela área do gráfico $F \cdot d$.



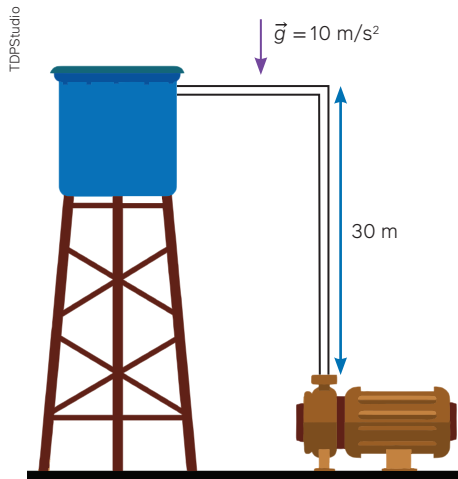
Os trabalhos da força elástica nos casos de (A) uma pessoa puxando o elástico e (B) liberando o elástico.



1. Calcule o trabalho realizado pela força F indicada em cada caso a seguir.



2. Uma bomba-d'água eleva duas toneladas de água até a caixa-d'água que está a uma altura de 30 m da bomba, em um local onde $g = 10 \text{ m/s}^2$.



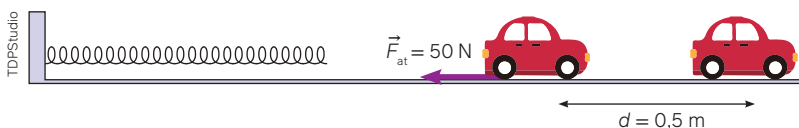
Determine:

- O trabalho realizado pela força peso sobre essa quantidade de água na situação descrita.
- O trabalho realizado pela bomba.

3. Em uma aula de *crossfit*, uma pessoa ergue um halter de 40 kg do solo até acima da cabeça, a uma altura de 2,5 m do solo. Considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 , determine:

- o trabalho necessário para que a força que a pessoa exerce sobre o halter cumpra a tarefa.
- sabendo que 1 kcal equivale aproximadamente a 4000 J, determine a quantidade de kcal consumidas nesse processo.

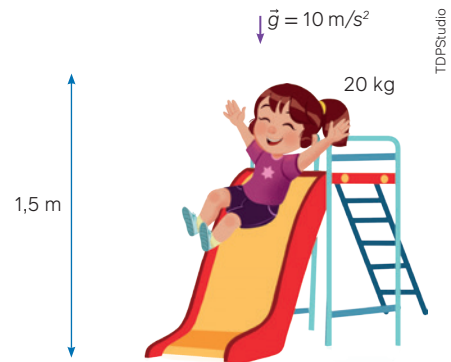
4. Um carrinho de brinquedo comprime 0,5 m de uma mola de constante elástica $k = 200 \text{ N/m}$. Liberando o carrinho, ele adquire movimento, mas logo em seguida uma força de atrito igual a 50 N faz o carrinho parar 0,5 m à frente.



Calcule:

- O trabalho da força elástica ao empurrar o carrinho.
- O trabalho da força de atrito ao frear o carrinho (compare o resultado com o valor encontrado no item anterior).

5. Uma criança de 20 kg desce um escorregador de 1,5 m de altura.
- Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine o trabalho realizado pela força peso durante a descida da criança.
 - O trabalho calculado depende da inclinação do escorregador? Justifique.



Trabalho e energia mecânica

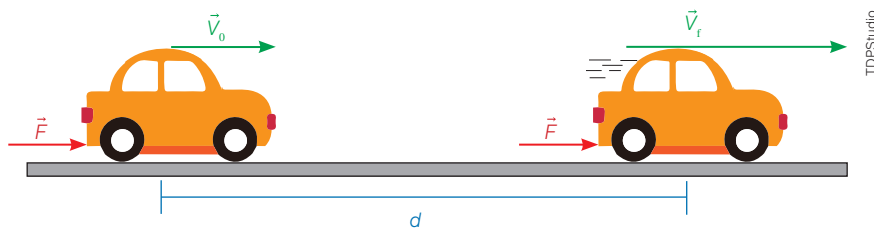
Já sabemos que o trabalho representa uma medida de energia em um sistema. Vamos ver agora como o trabalho influencia nas manifestações da energia de um corpo ou de um sistema de corpos.

Trabalho e energia cinética

Em uma situação na qual há trabalho da força resultante não nulo, há também variação de velocidade. Um dos jeitos de se pensar esse fenômeno é que o trabalho implica o uso/transferência de energia, bem como a variação de velocidade. À energia associada à velocidade, damos o nome de energia cinética.

Imagine um carro acelerando, isto é, variando sua velocidade. Ele só o faz porque uma força externa atua sobre ele, e essa força externa realiza trabalho mecânico. Se a força realiza muito trabalho mecânico, atuando no carro enquanto ele se desloca vários metros, a velocidade varia muito. Se o trabalho for pequeno, a variação de velocidade também é pequena.

Observando a figura a seguir, podemos perceber como a equação de Torricelli e a segunda lei de Newton são utilizadas juntas para encontrar uma relação matemática entre o trabalho realizado por uma força resultante e a variação em uma quantidade de energia associada ao movimento do carro. A essa relação chamamos de teorema da energia cinética.



pela equação de Torricelli:

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a\Delta s$$

$$\frac{v^2 - v_0^2}{2\Delta s} = a$$

pela segunda lei de Newton:

$$F_r = ma$$

$$F_r = m \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2\Delta s} \right)$$

$$F_r \cdot \Delta s = m \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2} \right)$$

$$F_r \cdot \Delta s = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

$$F_r \cdot d = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$$

Esquema de forças e velocidades em um carro e demonstração do teorema da energia cinética.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

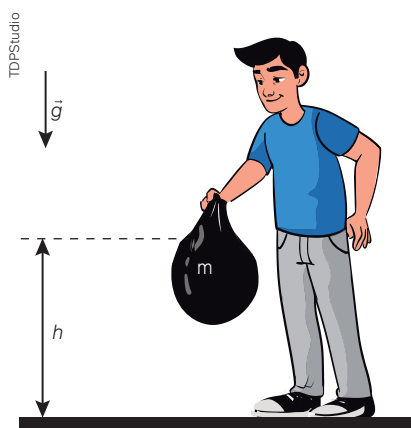
Chamamos de energia cinética essa quantidade $\frac{1}{2}mv^2$; é ela que indica a energia associada ao movimento de um corpo. A unidade do trabalho e a unidade da energia cinética são indicadas da mesma forma no SI, ou seja, energia e trabalho são dados em joule (J).

Trabalho e energia potencial

Outra consequência do trabalho mecânico está nas energias “guardáveis” ou acumuláveis. Se tivermos uma situação com molas, por exemplo, podemos comprimir a mola e “guardar” energia nela. Quando armazenamos água em uma caixa d’água, ou seja, em um ponto mais alto, temos energia guardada para que a água entre em movimento quando desejarmos. A essas energias que dependem da posição de um corpo ou da configuração de um sistema, e que podem ser armazenadas, chamamos de **energia potencial**. Energias potenciais estão sempre associadas às forças conservativas. No caso da mola, associada à força elástica. No caso da caixa d’água, à força peso.

Quando se tem uma força conservativa – aquele tipo de força cujo trabalho não depende da trajetória, como o peso, a força elétrica, a força elástica etc. –, o trabalho que a força conservativa potencialmente realizará é o que chamamos de energia potencial.

Energia Potencial Gravitacional



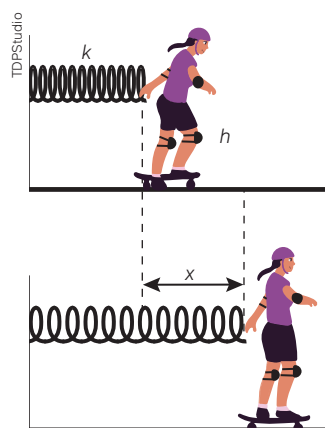
Caso a pessoa solte a bolsa e ela caia até o chão:

$$\tau_p = mgh \quad \left. \vphantom{\tau_p = mgh} \right\} \text{trabalho realizado}$$

Enquanto a bolsa está à altura h, em relação ao chão:

$$E_{p_g} = mgh \quad \left. \vphantom{E_{p_g} = mgh} \right\} \text{energia acumulada}$$

Energia Potencial Elástica



Caso a mola empurre a pessoa no skate:

$$E_{F_{el}} = \frac{kx^2}{2} \quad \left. \vphantom{E_{F_{el}} = \frac{kx^2}{2}} \right\} \text{trabalho realizado}$$

Enquanto a mola não empurrar a pessoa no skate:

$$E_{p_{el}} = \frac{kx^2}{2} \quad \left. \vphantom{E_{p_{el}} = \frac{kx^2}{2}} \right\} \text{energia acumulada}$$

Exemplos comparativos entre trabalho de uma força conservativa e a energia potencial a ela associada.

Princípio de conservação da energia mecânica

De um lado, as forças conservativas estão ligadas a energias potenciais. De outro, o movimento está ligado à energia cinética. A soma das energias potenciais e da energia cinética de um sistema caracteriza a **energia mecânica** desse sistema:

Energia mecânica

$$E_{mec} = E_c + E_p$$

E_{p_g} $E_{p_{el}}$

Uma consequência de um sistema ser composto apenas de forças conservativas, ou seja, que não há ação de forças dissipativas, como atrito, resistência do ar ou outras, é que a energia potencial e a energia cinética se inter-cambiam, mas o valor total da energia mecânica se conserva.

Princípio da conservação da energia mecânica

$$E_{mec_A} = E_{mec_B}$$

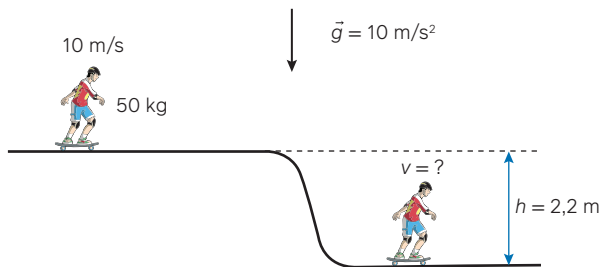
$$E_{C_A} + E_{P_A} = E_{C_B} + E_{P_B}$$

$$E_{C_A} + E_{P_{g_A}} + E_{P_{el_A}} = E_{C_B} + E_{P_{g_B}} + E_{P_{el_B}}$$

Por exemplo, se a energia potencial diminui 2 J, a energia cinética aumenta 2 J, mas a soma das duas não se altera. Isso é o que caracteriza a conservação de energia mecânica de um sistema.

Atividades comentadas

1. Uma pessoa andando de skate se desloca com velocidade 10 m/s na parte superior de uma rampa que tem 2,2 m de altura. A aceleração da gravidade local é $g = 10 \text{ m/s}^2$. Ao descer a rampa, a velocidade da pessoa aumenta.



- a) Como explicar o aumento da velocidade?

Resolução

A velocidade da pessoa aumenta por causa da conservação da energia mecânica. Quando a pessoa vai para um nível mais baixo, parte da sua

energia mecânica, que era potencial gravitacional, é transformada em energia cinética.

- b) Usando o princípio da conservação da energia mecânica, calcule a velocidade final da pessoa.

Resolução

$$E_{\text{mec}_A} = E_{\text{mec}_B}$$

$$E_{C_A} + E_{P_A} = E_{C_B} + E_{P_B}$$

$$\frac{mv_A^2}{2} + mgh_A = \frac{mv_B^2}{2} + mgh_B$$

$$\frac{10^2}{2} + 10 \cdot 2,2 = \frac{v_B^2}{2} + 0$$

$$50 + 22 = \frac{v_B^2}{2}$$

$$72 = \frac{v_B^2}{2}$$

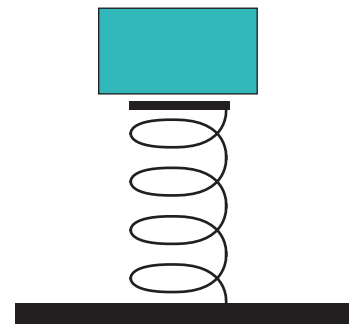
$$144 = v_B^2$$

$$v_B = \sqrt{144} \therefore v_B = 12 \text{ m/s}$$

Atividades propostas



1. Um estudante resolveu calcular a energia cinética de seu cachorrinho enquanto observava sua corrida pelo quintal. Considere que o cão tem uma massa igual a 8 kg e que ele percorreu 12 metros em 3 segundos com velocidade constante. Nessas condições, qual é a energia cinética do cão calculada pelo estudante, em joules?
2. (UEA-AM – 2019) Na Lua, a aceleração da gravidade é aproximadamente $1,6 \text{ m/s}^2$. Se um corpo for abandonado em queda livre na Lua, a 20 m de altura do solo lunar, o valor absoluto da velocidade, instantes antes desse corpo tocar o solo lunar, será
- 2 m/s.
 - 4 m/s.
 - 5 m/s.
 - 6 m/s.
 - 8 m/s.
3. (UPF-RS – 2019) Um objeto é abandonado diretamente acima de uma mola helicoidal ideal não deformada, como ilustra a figura. Ao atingir a mola, o objeto provoca uma deformação nela de 50 cm. Sabendo-se que a mola nessas condições armazena 50 J de energia, pode-se afirmar que a constante elástica da mola, em N/m, é de:
- 400
 - 200
 - 100
 - 250
 - 300
4. Suponha que um carrinho de montanha-russa esteja parado a uma altura igual a 10 m em relação ao solo. Calcule a velocidade do carrinho, em m/s, ao passar pelo ponto mais baixo da montanha-russa (altura do solo). Despreze as resistências da pista e adote a massa do carrinho igual a 200 kg e a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 .



Analizando a conservação da energia por meio de videoanálise

Se você soltar uma bola, deixando-a quicar no chão, ela retorna à mesma altura?

Neste experimento, exploraremos uma situação real na qual a energia não se conserva. Observaremos o comportamento de uma bola quicando, com o auxílio da análise de vídeos filmados em sala de aula a fim de avaliarmos a transformação da energia mecânica em outras formas de energia.

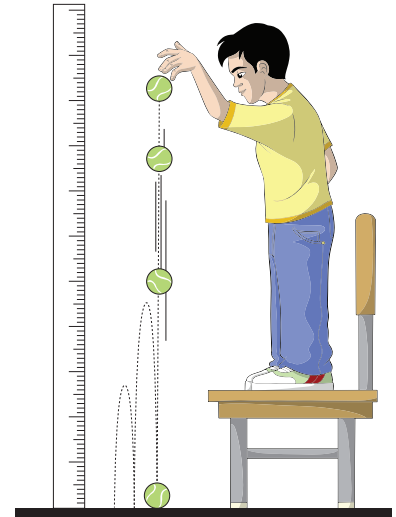
Material:

- fita métrica;
- diferentes bolas (de futebol, de pingue-pongue, de tênis);
- aparelho celular ou outro equipamento para filmagem.

Procedimento



1. Trabalhando em duplas, um estudante deve deixar a bola cair enquanto o outro filma a bola e seus sucessivos quiques.
2. Depois, ao assistir cuidadosamente os vídeos e pausando nos pontos de máxima altura dos primeiros quiques (ao menos três pontos), tome nota das posições da bola. Depois, uma bola diferente deve ser utilizada para repetição do processo observando os mesmos aspectos e fazendo as mesmas anotações.



TDPStudio

Trocando ideias

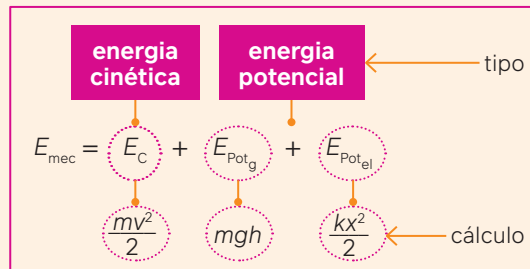


1. Por que a bola não retorna à altura inicial?
2. As duas bolas perdem a mesma porcentagem da energia inicial quando quicam?
3. Se a superfície do piso da sala de aula for alterada, a energia dissipada será diferente? Por quê?
4. Discuta com os colegas sobre as diferentes formas de dissipação de energia. Avaliem se é possível ter um sistema real que seja conservativo. Identifiquem as fontes de dissipação da energia envolvidas no experimento.



Recapitule

Neste capítulo, aprendemos sobre as diferentes fontes e tipos de energia – desde as usadas no passado até as atuais, provenientes de recursos tecnológicos –, incluindo a problemática dos transportes e do consumo de energia mecânica. Vimos também o que é o trabalho e seu modelo matemático (produto da força pelo deslocamento). Analisamos aparelhos de ginástica, brinquedos de parque de diversões e outras situações do dia a dia nas quais as transformações de energia mecânica estão presentes. Vimos que o trabalho da força resultante altera a energia cinética de um sistema. Aplicamos o teorema da energia cinética e o princípio da conservação da energia mecânica em situações diversas.



Verificamos experimentalmente que sistemas reais possuem forças dissipativas que sempre transformam parte da energia mecânica do sistema em outras formas de energia que não são aproveitadas.

Momento linear: um outro princípio da conservação

O ser humano vive nos mais diferentes locais ao redor do mundo, então, vamos propor uma situação mais extrema: E se todas as pessoas do mundo se juntassem em um mesmo local e pulassem ao mesmo tempo? Que efeito esse pulo promoveria no planeta? O planeta mudaria de lugar?



TDPStudio

Situação hipotética de concentrar todas as pessoas em um lugar do planeta.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Podemos pensar em uma situação um pouco diferente: Todos os anos, mais de 6 000 meteoritos atingem a superfície da Terra. Por que não percebemos os efeitos dessas colisões no planeta?

Há um princípio de **conservação** que envolve uma grandeza vetorial e que relaciona massa e velocidade de modo diferente da energia cinética. Tratando-se da conservação de uma grandeza vetorial, a direção e o sentido do movimento influenciam as consequências das situações estudadas. Para compreendermos as colisões e as explosões, por exemplo, precisaremos aprender sobre esse outro princípio de conservação.

Para refletir

1. O que difere uma bola de *pingue-pongue* de uma bola de futebol?
2. Qual situação deve provocar mais dor: ser atingido por uma bola de *pingue-pongue* a 2 m/s, ou ser atingido por uma bola de basquete com a mesma velocidade?
3. O que aconteceria se essa bola de *pingue-pongue*, a 10 m/s, colidisse com a bola de basquete, em repouso?

Objetivos do capítulo

- Apresentar as grandezas momento linear e impulso para discussão de um outro princípio da conservação da natureza.
- Analisar massas e velocidades em diferentes casos de colisões e explosões.
- Avaliar consequências para a segurança das pessoas no trânsito e suas relações com a urbanização e o crescimento de acidentes de trânsito.
- Sintetizar resultados experimentais em modelos explicativos a partir da coleta e análise de dados empíricos de colisões reais.



Acidentes de trânsito

Uma das maravilhas do processo de industrialização do mundo foi a facilidade de se deslocar de um ponto até outro, a quilômetros de distância, em questão de minutos. Isso permitiu uma melhora na distribuição de alimentos, de produtos manufaturados, bem como um aumento na rapidez em atendimentos a doentes em caso de emergência, entre outras vantagens. Apesar disso, percebeu-se, especialmente nos centros urbanos, uma sobrecarga das vias públicas, com engarrafamentos, aumento na poluição atmosférica e aumento do número de pessoas que perdem a vida ou se ferem por conta de acidentes de trânsito.

Com a intensificação do trânsito, veio também a necessidade de se criar leis e regras para a forma como as pessoas (condutores, passageiros, ciclistas e pedestres) se relacionam com o trânsito. A coletânea dessas regras está estabelecida no Código de Trânsito Brasileiro (CTB), mas a lavratura do CTB ocorreu há mais de 20 anos. Por isso, há a necessidade de se atualizar.

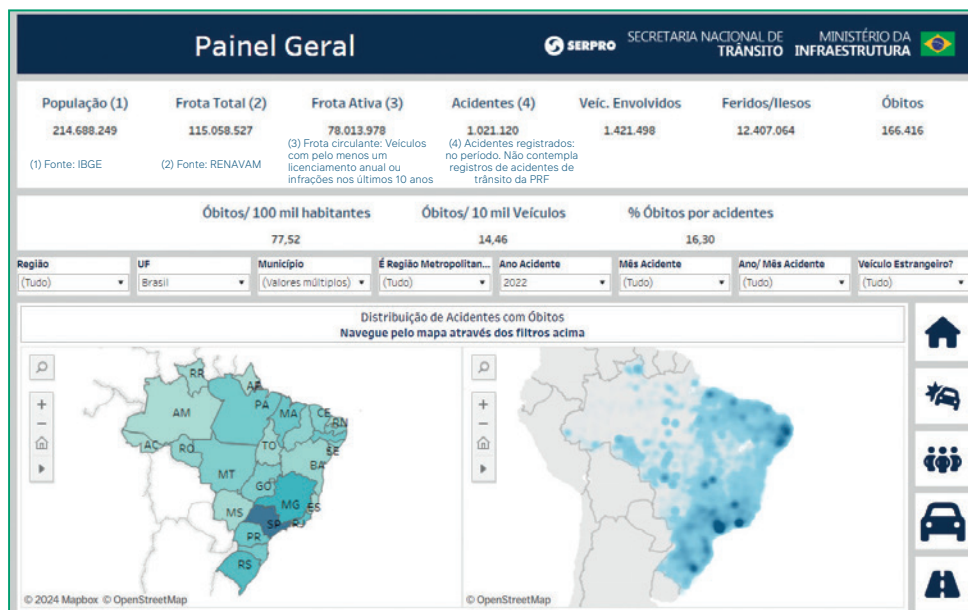
Com base nesse tema, veja o trecho a seguir, do ano de 2022.

Trânsito brasileiro: 45 mil mortes e R\$ 50 bilhões de prejuízo econômico

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) estima em 45 mil mortos anuais e R\$ 50 bilhões de custo econômico o resultado dos acidentes de trânsito no Brasil. Em 2017, esses acidentes foram a principal causa de mortes de crianças entre 5 e 14 anos no país. Recentemente, a legislação mudou para punir com mais rigor o homicídio culposo de trânsito. Especialistas em audiência no Senado defendem educação no trânsito nas escolas brasileiras.

TRÂNSITO brasileiro: 45 mil mortes e R\$ 50 bilhões de prejuízo econômico. *Senado*, Brasília, DF, 13 set. 2022. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/tv/programas/em-discussao/2022/09/transito-brasileiro-45-mil-mortes-e-r-50-bilhoes-de-prejuizo-economico>. Acesso em: 5 jul. 2024.

O Ministério dos Transportes disponibiliza o Registro Nacional de Acidentes e Estatísticas de Trânsito em seu *site*, na forma de um mapa interativo. Nele, podemos pesquisar dados e observar as estatísticas oficiais de acidentes de trânsito em 2022, conforme mostrado a seguir. No mapa com os estados brasileiros, os tons mais escuros indicam as localidades com maior número de acidentes; na parte superior, os números de acidentes e suas consequências. A pesquisa pode obedecer a vários critérios: região, período, tipo de veículo, rodovias, vitimas etc.



O mapa mostra todas as estatísticas de trânsito desde 2018 até 2023.

Fonte: BRASIL. Ministério dos Transportes. *Registro Nacional de Sinistros e Estatísticas de Trânsito*. [Brasília, DF]: MT, 20 set. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/renaest>. Acesso em: 12 ago. 2024.

Nem todo acidente de trânsito tem consequências fatais, no entanto, alguns são devastadores. Do ponto de vista da Física, há variáveis muito relevantes quando analisamos a ocorrência de um acidente e quando pensamos formas de nos protegermos. Desde o respeito às leis de trânsito, até a tomada de decisão sobre a própria locomoção nos locais onde vivemos, cada atitude de cada ser humano pode impactar para melhor ou para pior as consequências do trânsito.

Trocando ideias

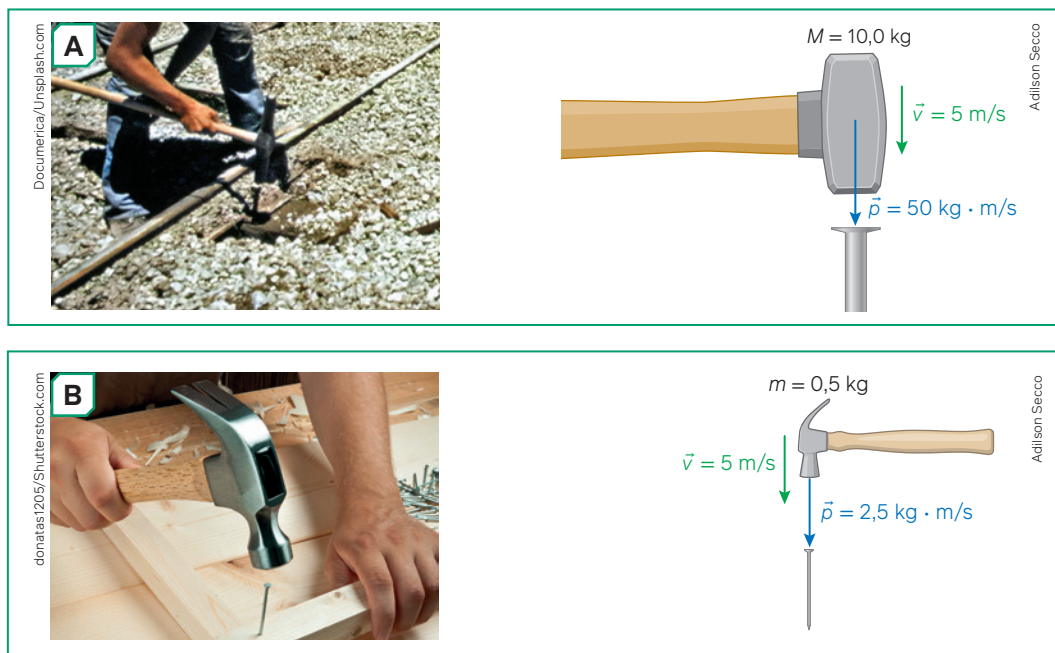
1. As estatísticas do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) se referem a eventos na década de 2010. A partir dessa informação, explique como é o comportamento do trânsito considerando a questão como um problema de saúde pública no Brasil. Cite dados que confirmem a gravidade desse problema e mencione os principais fatores que contribuem para a alta taxa de mortalidade e de custos econômicos.
2. O texto afirma que “especialistas em audiência no Senado defendem educação no trânsito nas escolas brasileiras”. Qual é a relação entre a educação no trânsito e a redução de acidentes? De que maneira a compreensão da Física pode contribuir com a redução dos acidentes e, principalmente, com a redução das mortes no trânsito?
3. Qual é o papel do transporte coletivo no desfogamento do trânsito? E na redução de acidentes?
4. Como as variáveis físicas dos veículos envolvidos, como “massa” e “vetor velocidade” (ou seja, intensidade, direção e sentido da velocidade) influenciam as consequências de um acidente de trânsito?

Momento linear

Para que entendamos os efeitos de uma colisão entre automóveis, ou as direções dos módulos de um foguete que se separam ao atingir determinada altura, ou ainda outras situações do cotidiano, precisamos utilizar uma grandeza que relaciona de modo vetorial a massa e a velocidade de um corpo. A essa grandeza chamamos de **momento linear** (\vec{p}) ou **quantidade de movimento** ou ainda de **momentum**. O vetor momento linear de um corpo é o produto da massa do corpo e de seu vetor velocidade. A unidade do momento linear no sistema internacional é $\text{kg} \cdot \text{m/s}$.

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

Ao martelar um prego, podemos escolher um pequeno martelo ou uma marreta grande. Dependendo do tamanho do prego, a melhor opção pode ser um ou outro, mas por que pregos maiores exigem martelos maiores? Vamos comparar uma marreta de 10 kg e um martelo de 0,5 kg, ambos atingindo um prego, como nas imagens a seguir.



Pessoa usando marreta para pregar um prego de trilho de trem (A), pessoa usando um martelo para pregar um prego pequeno (B) e esquemas que comparam os momentos lineares envolvidos.

Conforme representado nas imagens anteriores, ambas as ferramentas atingem os pregos com a mesma velocidade, mas a marreta possui maior momento linear, tendo maior tendência de continuar seu movimento ao colidir com o prego. Isso nos faz retomar a noção de inércia, que é a tendência de um corpo permanecer em repouso quando em repouso ou em movimento retilíneo uniforme (MRU). De fato, o momento linear mantém uma relação com a inércia do corpo e, por isso, a massa do corpo é levada em conta, mas ainda há outro elemento: a velocidade. Uma marreta com massa “10M” e velocidade “v”, atingindo um prego, terá o mesmo momento linear que um martelo de massa “m” atingindo um prego com velocidade “10v”.

Atividades comentadas

1. Para cada situação representada a seguir, indique o módulo, a direção e o sentido do momento linear dos corpos, cujas massas e velocidades estão indicadas:

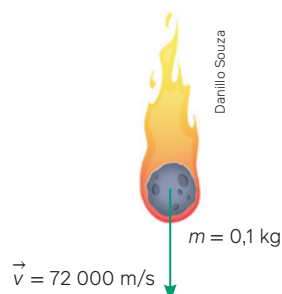
a) uma bola de futebol depois de chutada;



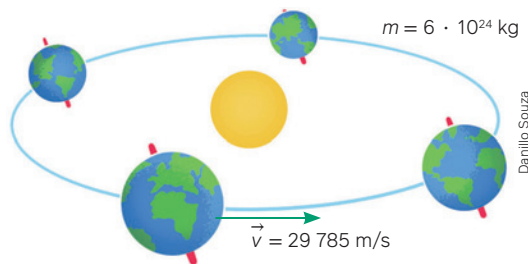
b) uma surfista em uma onda;



c) um meteorito chegando à Terra;



d) a translação do planeta Terra.



Resolução

Em cada caso, o módulo do momento linear é dado pelo produto da massa e da velocidade. A direção e o sentido do momento linear sempre são os mesmos da velocidade.

Os tons de cores, as distâncias entre os astros e a proporção entre os seus tamanhos não são os reais. A ilustração está fora de escala.

a) $m = 0,45 \text{ kg}$
 $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$
 $|\vec{p}| = m \cdot |\vec{v}|$
 $|\vec{p}| = 0,45 \cdot 35$
 $|\vec{p}| = 15,75 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

b) $m = 80 \text{ kg}$
 $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$
 $|\vec{p}| = m \cdot |\vec{v}|$
 $|\vec{p}| = 80 \cdot 6$
 $|\vec{p}| = 480 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

c) $m = 0,1 \text{ kg}$
 $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$
 $|\vec{p}| = m \cdot |\vec{v}|$
 $|\vec{p}| = 0,1 \cdot 72\,000$
 $|\vec{p}| = 7,2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

d) $m = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
 $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$
 $|\vec{p}| = m \cdot |\vec{v}|$
 $|\vec{p}| = 6 \cdot 10^{24} \cdot 29\,785$
 $|\vec{p}| = 1,79 \cdot 10^{29} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

Os esquemas estão representados com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

- No item a, o módulo é $15,75 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, a direção é horizontal e o sentido é para a esquerda.
- No item b, o módulo é $480 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, a direção é horizontal e o sentido é para a direita.
- No item c, o módulo é $7,2 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, a direção é vertical e o sentido é para baixo.
- No item d, o módulo é $1,79 \cdot 10^{29} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, a direção é horizontal e o sentido é para a direita.

Ao olharmos os valores dos momentos de um meteorito e da translação do planeta, vemos a razão pela qual a queda de um meteorito de 100 g no planeta, mesmo a uma velocidade tão grande, representa um momento irrelevante em relação ao momento do planeta.

Impulso

O momento linear tem um papel central em situações que envolvem forças resultantes: Em toda a situação na qual se tem uma mudança do momento linear, há presença de uma força resultante no sistema, e isso nos indica uma outra forma de conceber a segunda lei de Newton:

2ª lei de Newton

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{F}_R = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$\vec{F}_R = m \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{\Delta t}$$

$$\vec{F}_R \cdot \Delta t = m(\vec{v}_f - \vec{v}_i)$$

impulso

$$\vec{F}_R \cdot \Delta t = m\vec{v}_f - m\vec{v}_i$$

teorema do impulso

$$\vec{l} = m\vec{v}_f - m\vec{v}_i$$

$$\vec{l} = \vec{p}_f - \vec{p}_i$$

$$\vec{l} = \Delta \vec{p}$$

momento linear

Chamamos de “vetor impulso” (\vec{l}) o produto da força aplicada durante o intervalo de tempo que a força atua no corpo. Assim, podemos reescrever a segunda lei de Newton em termos dessa nova grandeza, dizendo que o impulso da força resultante é igual à variação do momento linear do sistema que recebe a força.

Uma consequência notável desse teorema é que podemos descobrir qual é a força média aplicada em um corpo a partir da taxa de variação do momento em relação ao tempo. Como não podemos visualizar uma força diretamente, podemos inferir sua presença a partir da variação do momento linear de um corpo, no tempo.

$$l = \Delta p$$

$$F \cdot \Delta t = \Delta p$$

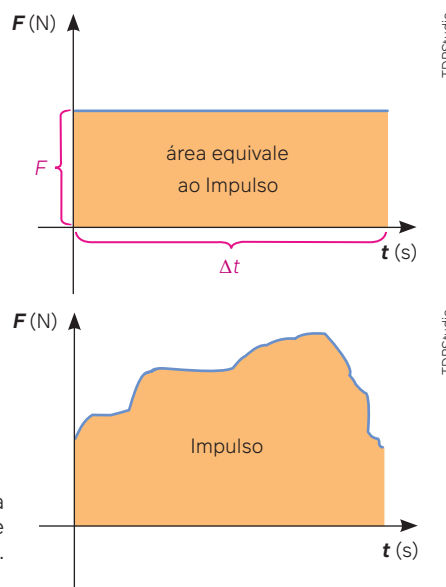
$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Pensando em um exemplo prático, podemos dizer que a queda de um corpo em um chão duro implica a aplicação de uma grande força porque o chão faz o momento variar muito rapidamente: em uma fração de segundo, o corpo tem sua velocidade levada a zero; já a queda de um corpo em um colchão implica uma força menor, pois faz o momento da pessoa variar mais lentamente em comparação com a queda em um chão rígido.

Uma outra forma de se obter o impulso aplicado a um corpo se dá na análise dos gráficos de força em função do tempo. Como o impulso é o produto entre a força aplicada e o tempo de duração dessa força, a área sob a curva, no gráfico, é equivalente ao módulo do impulso.

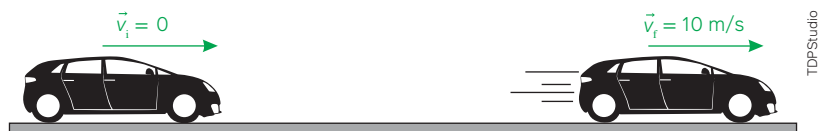
Essa forma de se pensar o impulso é necessária para lidarmos com situações-problema nas quais a força não tem módulo constante e, por isso, somente a área do gráfico pode fornecer o módulo correto do impulso aplicado.

A área sob a curva de um gráfico de força \times tempo representa o módulo do impulso aplicado ao corpo, independentemente da variação dessa força ao longo do tempo.



Atividades comentadas

- Um carro de 800 kg é acelerado, partindo do repouso até atingir a velocidade de 10 m/s, conforme esquema a seguir:



Se todo o processo ocorre em 5 s, determine:

- a variação do momento linear do carro;
- o impulso resultante sobre o carro;
- a força resultante média atuando no carro.

Resolução

- a) Como a velocidade inicial é nula, o momento linear inicial também é nulo. Então, a variação do momento linear será o próprio momento linear final.



TDPStudio

$$\begin{aligned} \vec{p}_f &= m \cdot \vec{v}_f \\ \vec{p}_f &= 800 \cdot 10 \\ \vec{p}_f &= 8000 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \vec{p} &= \vec{p}_f - \vec{p}_i \\ \Delta \vec{p} &= 8000 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \end{aligned}$$

A variação do momento linear do carro é um vetor de módulo $8000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, direção horizontal e sentido para a direita.

- b) O vetor impulso é igual ao vetor variação do momento linear, portanto, também é um vetor de módulo $8000 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, direção horizontal e sentido para a direita.

- c) O impulso é o produto da força pelo tempo no qual a força atuou:

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t \Rightarrow 8000 = F \cdot 5$$

Logo,

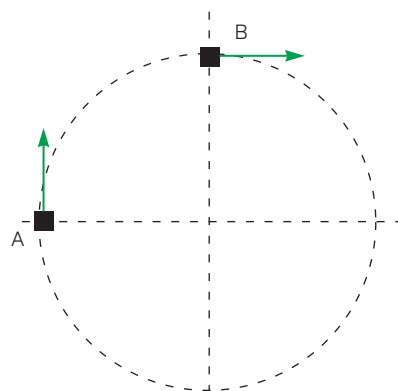
$$F = 1600 \text{ N}$$

Nesta atividade, vimos que não há diferença entre vetor impulso e vetor variação do momento linear. Vimos também que, sabendo o valor do impulso e sabendo por quanto tempo a força atuou, podemos determinar a força média sobre um corpo.

2. Um corpo se desloca do ponto **A** ao ponto **B**, com velocidades indicadas na figura, mantendo movimento uniforme, em uma trajetória circular.

É correto afirmar que:

- o momento linear do corpo nunca muda, pois, a velocidade é constante.
- há impulso sobre o corpo no sentido sudeste.
- há impulso sobre o corpo no sentido esquerda acima.
- o impulso sobre o corpo é nulo.
- a variação do momento do corpo é um vetor vertical para cima.



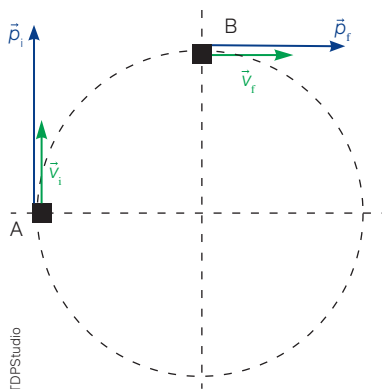
TDPStudio

Resolução

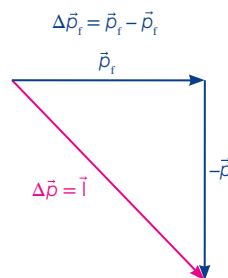
Solução: Alternativa **b**.

Neste problema, precisamos lembrar que o momento linear é uma grandeza vetorial. Por isso, a variação do momento linear é um vetor $\Delta \vec{p}$ dado pela diferença entre o vetor momento linear final (horizontal e para a direita) e o vetor momento linear inicial (vetorialmente, a diferença é a soma do primeiro vetor com o inverso do segundo, por isso, este é vertical e para baixo).

Logo, como indicado na figura, a variação do momento linear e o impulso são vetores que estão na diagonal com sentido para a direita apontando para baixo.



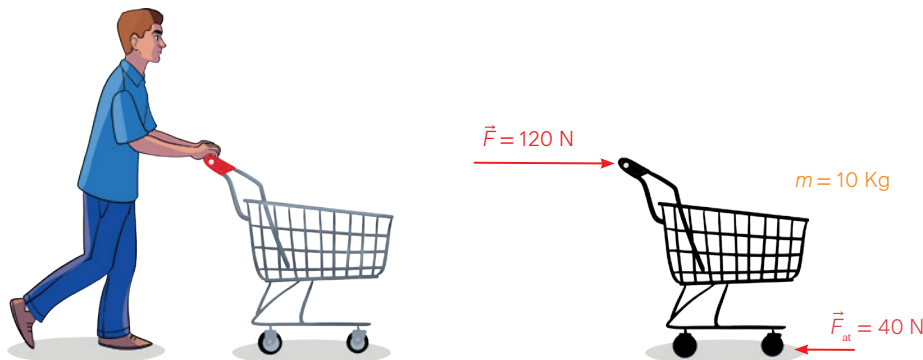
TDPStudio



TDPStudio

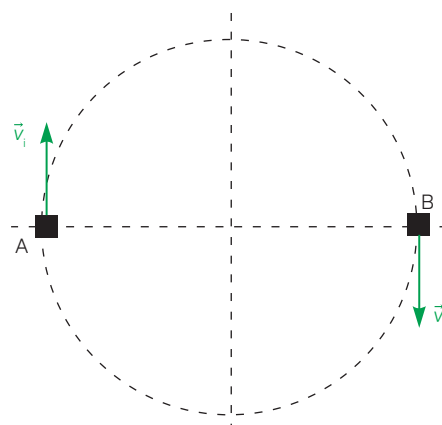


- Um carro de 1000 kg parte do repouso e atinge a velocidade de 20 m/s. Determine qual é o impulso resultante desse carro.
- Uma pessoa empurra um carrinho de compras de 10 kg



A força que a pessoa exerce sobre o carrinho tem módulo 120 N, e os atritos das rodas do carrinho com o chão possuem módulo 40 N.

- Qual é o impulso resultante sobre o carrinho em 4 s de atuação das forças indicadas?
 - Se o carrinho estava inicialmente em repouso, qual será a velocidade dele ao final dos 4 s?
- Em uma trajetória circular, um corpo de 50 kg, com velocidade de módulo constante igual a 10 m/s, dá meia volta em 10 s.
 - Determine a variação do momento do corpo nessa meia volta.
 - Determine o valor, a direção e o sentido da força média atuando no corpo durante essa meia volta.
 - Um carro de 700 kg, inicialmente a 35 m/s, se vê diante de um perigo de trânsito e precisa frear até parar totalmente em 2 s.



$$\Delta t = 2 \text{ s}$$



Determine a variação do momento do carro até parar e a força média sobre o carro durante a frenagem.

Princípio da conservação do momento linear

Vimos que o que promove variação do momento linear de um sistema é o impulso, dado pelo produto da força pelo intervalo de tempo ($\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$). Na análise do impulso, a força \vec{F} é uma força externa àquilo que definimos como um sistema.

Para exemplificar como a escolha de um sistema pode ser determinada, tomemos um trem que parte do repouso e, devido a uma força resultante, entra em movimento. Se analisarmos o trem como sendo o sistema, o impulso resultante sobre o trem é dado pelo produto das resultantes de todas as forças atuando no trem e seu intervalo de tempo. Ao analisarmos o último vagão do trem como o sistema, o teorema do impulso também é válido, mas, nesse caso, a massa é a apenas a massa do vagão e as forças são apenas as forças atuantes no vagão.

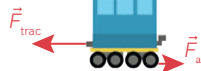
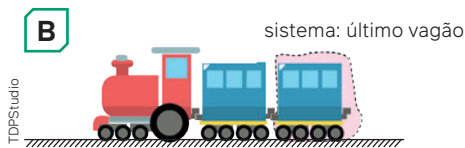


$$\vec{I}_R = \Delta \vec{p}_{\text{trem}}$$

$$\vec{F}_{R_{\text{trem}}} \cdot \Delta t = \vec{p}_{f_{\text{trem}}} - \vec{p}_{i_{\text{trem}}}$$

$$(F_{\text{mot}} - F_{\text{at}}) \Delta t = m_{\text{trem}} \vec{v}_{f_{\text{trem}}} - m_{\text{trem}} \vec{v}_{i_{\text{trem}}}$$

$$(F_{\text{mot}} - F_{\text{at}}) \Delta t = m_{\text{trem}} (v_{f_{\text{trem}}} - v_{i_{\text{trem}}})$$



$$\vec{I}_R = \Delta \vec{p}_{\text{vag}}$$

$$\vec{F}_{R_{\text{vag}}} \cdot \Delta t = \vec{p}_{f_{\text{vag}}} - \vec{p}_{i_{\text{vag}}}$$

$$(F_{\text{trac}} - F_{\text{at}}) \Delta t = m_{\text{vag}} \vec{v}_{f_{\text{vag}}} - m_{\text{vag}} \vec{v}_{i_{\text{vag}}}$$

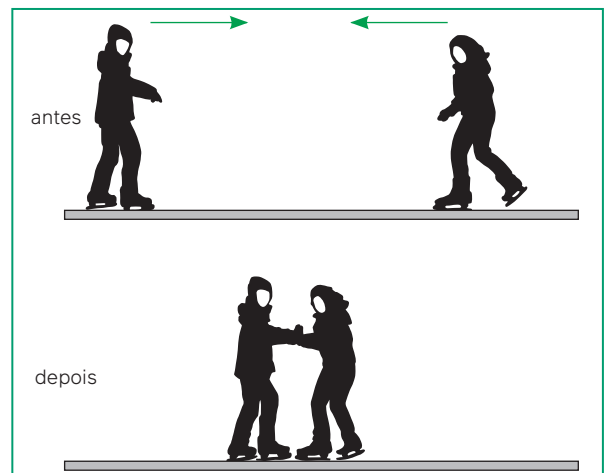
$$(F_{\text{trac}} - F_{\text{at}}) \Delta t = m_{\text{vag}} (v_{f_{\text{vag}}} - v_{i_{\text{vag}}})$$

Validade do teorema do impulso para qualquer sistema, seja o trem por inteiro **(A)**, seja apenas um de seus vagões **(B)**.

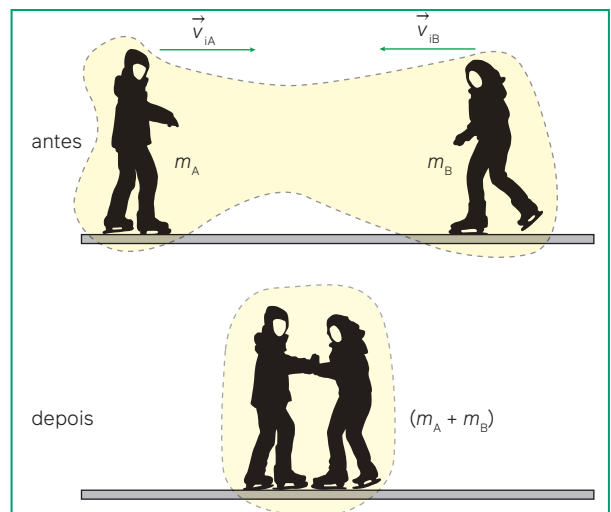
A escolha do sistema cujo impulso se analisa é fundamental para entendermos as colisões e as explosões. Se tomarmos dois patinadores no gelo (com atritos desprezíveis nos patins) indo um sentido ao outro, podemos avaliar o que acontece quando eles se unem.

Para a análise, é necessário definir o que estamos chamando de “sistema”. Se analisarmos como sistema os dois patinadores juntos, podemos avaliar como o momento linear do sistema (ambos, juntos) varia em função da existência ou não de forças externas ao sistema.

No caso do sistema escolhido, uma vez que o atrito nos patins é desprezível, e que a força peso e a força normal nos dois patinadores se anulam, e ainda que não há nenhuma outra força externa ao sistema, o impulso resultante sobre o sistema é nulo ($\vec{I} = \vec{0}$). Sendo nulo o impulso, a variação do momento no sistema também é nula ($\Delta \vec{p} = \vec{0}$). Se não há variação do momento, significa que o momento linear do sistema antes é igual ao momento linear do sistema depois. A essa relação, chamamos de **princípio da conservação do momento linear**. Todo sistema que tenha impulso externo nulo é um sistema chamado de “sistema mecanicamente isolado” e, nesse tipo de sistema, o momento linear do sistema é conservado. Com isso, a depender da massa e da velocidade de cada corpo do sistema, podemos descobrir para que lado os dois patinadores seguem depois de se unirem e com que velocidade eles se deslocam.



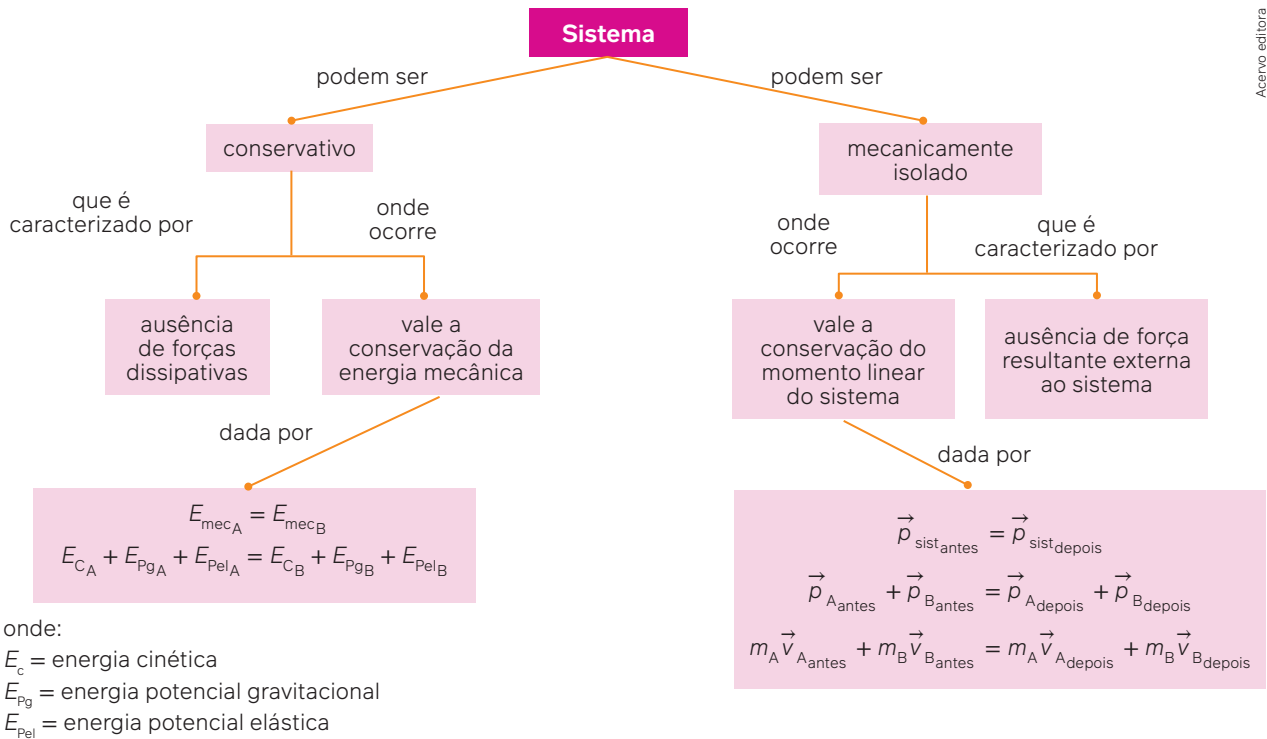
Dois patinadores se aproximando e, depois, se unindo.



Definição do sistema a ser analisado, tomando-se os dois corpos como sendo o sistema.

Conservação do momento linear e da energia mecânica

O princípio da conservação do momento linear nos lembra algo sobre o princípio da conservação da energia. De fato, ambos são dois dos principais princípios da conservação na Física, mas há uma diferença entre as circunstâncias que nos levam a detectar a conservação de um e a conservação de outro. A conservação da energia mecânica ocorre quando não há força dissipativa, como o atrito, enquanto a conservação do momento linear ocorre quando não há força resultante externa ao sistema, como situações de colisões ou explosões nas quais as únicas forças trocadas são trocadas dentro do sistema. Veja a organização conceitual a seguir.



Um possível mapa conceitual dos dois principais princípios da conservação da mecânica: a conservação da energia mecânica e a conservação do momento linear.

Atividades comentadas

- Dois patinadores no gelo, sem atrito em seus patins, possuem massas $m_A = 70\text{ kg}$ e $m_B = 50\text{ kg}$, e se deslocam com velocidades iniciais $v_A = 4\text{ m/s}$, para a direita, e $v_B = 6\text{ m/s}$, para a esquerda. Em um dado momento, os dois se chocam frontalmente, segurando as mãos um do outro, conforme indicado na figura:

Resolução

Como o sistema é mecanicamente isolado, seu momento total se conserva. Dado que a soma dos momentos lineares é uma soma de vetores, para vetores no mesmo sentido, somam-se os módulos, mas para vetores em sentidos opostos, subtraem-se os módulos. Para evitar confusões, uma alternativa é (para o caso de velocidades na mesma direção) eleger um sentido para chamar de positivo. Assim, vetores nesse sentido terão valores positivos e vetores em sentidos opostos, valores negativos. O sinal determinará o sentido do vetor resultante:

$$m_A v_{iA} + m_B v_{iB} = (m_A + m_B) v_f$$

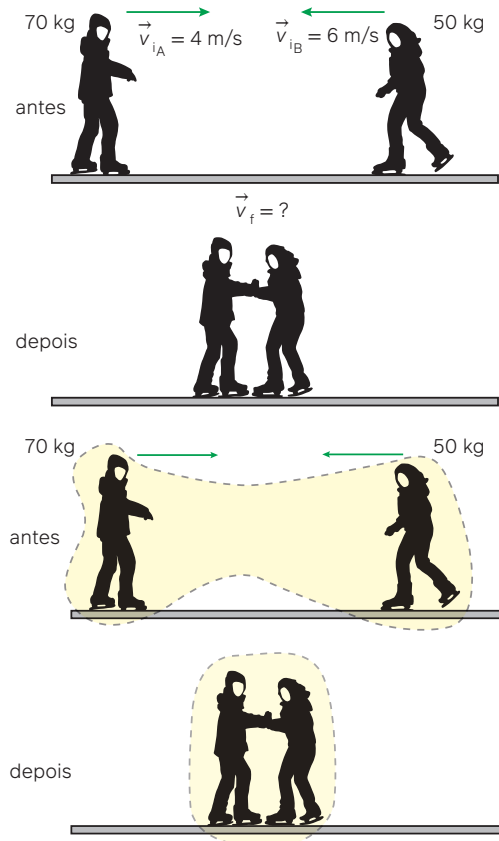
$$70 \cdot (+4) + 50 \cdot (-6) = (70 + 50) v_f$$

$$+280 - 300 = 120 v_f$$

$$-20 = 120 v_f$$

$$v_f \cong -0,17\text{ m/s}$$

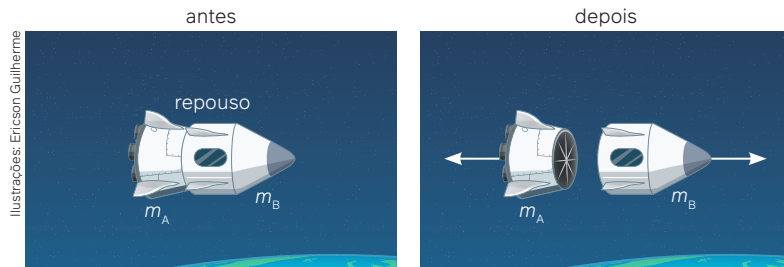
Como o sinal da velocidade final é negativo, observando o referencial adotado (positivo para a direita), significa que a velocidade final dos dois juntos é para a esquerda, com módulo de aproximadamente 0,17 m/s.



TDFStudio

Ilustrações: TDFStudio

2. Uma nave espacial é composta por um compartimento motor, cuja massa é $m_A = 400$ kg e uma cápsula cuja massa é $m_B = 200$ kg. Ambos estão no espaço, em repouso ao se considerar um referencial escolhido. Num dado instante, o motor e a cápsula se separam, conforme indica a figura a seguir.

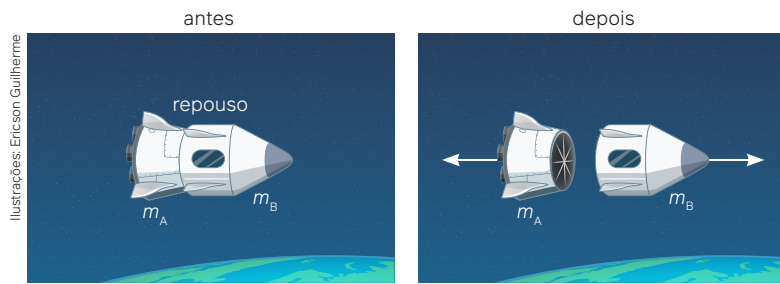


O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Depois da separação, se o motor se desloca para a esquerda com velocidade de 5 m/s, qual será a velocidade da cápsula?

Resolução

Por se tratar de um sistema mecanicamente isolado, ou seja, no qual não há forças resultantes externas ao sistema e as únicas forças trocadas são entre os corpos do sistema, podemos utilizar o princípio da conservação do momento linear. No início, se ambos estão em repouso, o momento do sistema é nulo. Então, adotando o sentido positivo como sendo para a direita, teremos:

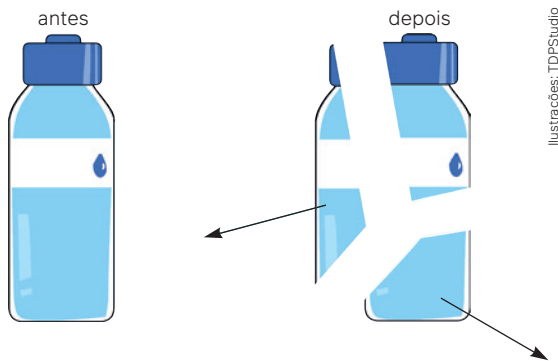


$$\begin{aligned} \vec{p}_{\text{sis antes}} &= \vec{p}_{\text{sis depois}} \\ m_i \cdot \vec{v}_i &= m_f \cdot \vec{v}_f \\ 0 &= m_A \cdot v_{fA} + m_B \cdot v_{fB} \\ 0 &= 400 \cdot (-5) + 200 \cdot v_{fB} \\ 0 &= -2000 + 200 \cdot v_{fB} \\ 2000 &= 200 \cdot v_{fB} \\ v_{fB} &= +10 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Atividades propostas

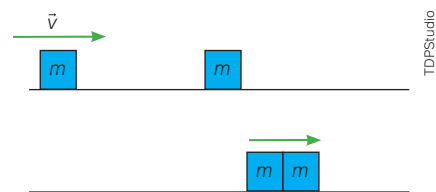


- Um carro de 800 kg a uma velocidade de 20 m/s colide frontalmente com um bloco de segurança na estrada, contendo água com massa total de 200 kg. Se, após a colisão, o bloco e o carro seguem juntos, qual é a velocidade do conjunto após colidirem?
- Uma garrafa PET sob alta pressão explode, partindo-se em três pedaços. As velocidades de dois pedaços, após a explosão, são indicadas na figura.



Qual é a direção e o sentido da velocidade do terceiro pedaço, após a explosão?

- Vertical, para cima.
 - Horizontal para a esquerda.
 - Inclinada à esquerda e abaixo.
 - Inclinada à direita e acima.
 - O terceiro pedaço fica em repouso após a colisão.
3. Dois corpos de mesma massa m sofrem uma colisão. Antes da colisão, um dos corpos estava em repouso e o outro tinha velocidade v .



Se, depois da colisão, os corpos seguem juntos, determine:

- a velocidade do conjunto após a colisão.
- a relação entre a energia cinética final (após a colisão) e a energia cinética inicial (antes da colisão) do sistema.



Colisões com videoanálise

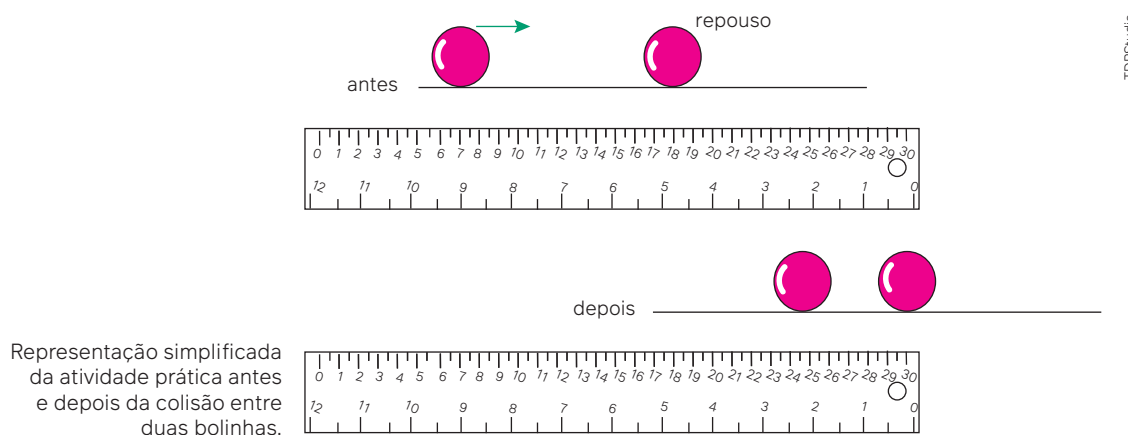
Nesta atividade, analisaremos as colisões entre corpos de massas conhecidas por meio de uma videoanálise e avaliaremos as consequências de diferentes tipos de colisão.

Material:

- celular com câmera;
- computador com *software* de videoanálise;
- 4 bolinhas de gude (ou pequenas esferas de metal);
- régua;
- balança comum.

Procedimento

Como preparo prévio, verifique, utilizando a balança, a massa de todas as bolinhas e anote em uma tabela, identificando-as com caneta. Também instale o *software* livre Tracker no computador (disponível em: <https://physlets.org/tracker/>. Acesso em: 28 jul. 2024). Esse programa é uma ferramenta destinada à análise de vídeos de movimento quadro a quadro. Agora, seguiremos alguns passos.



1. Posicione uma régua em frente a câmera de celular (ou de computador) e coloque uma das bolinhas em alguma posição da régua, em repouso. Outra bolinha será segurada próxima à primeira.
2. A segunda bolinha será lançada gentilmente contra a primeira, até que colidam frontalmente. O evento deve ser filmado para ser analisado no *software*.
3. Depois de filmada a colisão, o vídeo será levado para o *software*. No *software*, marque dois pontos na régua e indique a distância correta entre eles, então, marque ponto a ponto a velocidade da bolinha lançada antes da colisão, e a velocidade da segunda bolinha atingida após a colisão.
4. Tendo as velocidades das bolinhas e conhecendo suas massas (que foram conferidas antes do início dos procedimentos), escreva o princípio da conservação do momento linear (modelo teórico). Anote os valores dos momentos reais obtidos com a massa das bolinhas (que você aferiu no início) e as velocidades delas (que você obteve pelo *software* de videoanálise).
5. Repita o procedimento três vezes usando bolinhas diferentes.

Trocando ideias

1. Ao colidirem, as bolinhas fizeram com que os resultados dos procedimentos ficassem mais próximos ou mais longe dos valores calculados teoricamente?
2. Houve diferença quando as bolinhas colidiram frontalmente e quando colidiram apenas de “raspão”?
3. Produza um cartaz com os resultados obtidos e compare o modelo teórico com os resultados empiricamente tomados. Apresente à turma uma explicação para o comportamento das bolinhas antes e depois da colisão com base na previsão que o modelo teórico indicava.

Tipos de colisão

Podemos utilizar o princípio da conservação do momento linear em qualquer colisão, pois o intervalo de tempo entre “imediatamente antes” da colisão e “imediatamente depois” da colisão é muito pequeno, levando o impulso a zero. Outro argumento é que, em uma colisão, as forças trocadas são internas ao sistema composto pelos corpos que colidem, mas nem toda colisão conserva a energia mecânica do sistema. Nos casos em que a energia é conservada, dizemos que a colisão é **perfeitamente elástica**. Há outros casos de colisão, quando os corpos se unem após colidirem. Essas são as chamadas colisões **inelásticas**, e é o tipo de colisão que mais dissipa energia mecânica. As colisões nas quais a energia não é conservada, mas os corpos não se unem, são as colisões **parcialmente elásticas**.

Podemos avaliar a conservação do momento que ocorre em qualquer colisão, e a energia total do sistema (que só se conserva na colisão perfeitamente elástica) para lidarmos com situações-problema de colisões, mas há uma grandeza que pode indicar o tipo de colisão. Essa grandeza é um artifício que oferece outra forma de analisar situações de colisões. Para que uma colisão ocorra, antes dela, os corpos se aproximam. Depois de uma colisão, os corpos se afastam ou permanecem juntos. Em uma colisão, há, portanto, uma velocidade relativa de aproximação e uma velocidade relativa de afastamento. A relação entre as velocidades relativas de afastamento e de aproximação $e = \frac{v_{af}}{v_{ap}}$ indica o coeficiente de restituição (e) de uma colisão. Em colisões perfeitamente elásticas, o coeficiente de restituição é $e = 1$. Em colisões inelásticas, o coeficiente de restituição é $e = 0$ porque a velocidade relativa de afastamento é nula. Em colisões parcialmente elásticas, o coeficiente de restituição é $0 < e < 1$.

Atividades comentadas

1. Dois veículos, **A** e **B**, estavam se deslocando na mesma estrada com velocidades $v_A = 30 \text{ m/s}$ e $v_B = 20 \text{ m/s}$. O motorista do veículo **A** se distraiu e colidiu com o veículo **B**. Após a colisão, o veículo **A** passou a se deslocar com velocidade $v'_A = 18 \text{ m/s}$, e o veículo **B**, com $v'_B = 23 \text{ m/s}$, ambos no mesmo sentido. Observe a figura abaixo que mostra a colisão entre dois veículos e suas respectivas velocidades antes e depois da colisão e determine:

- a) a velocidade relativa de aproximação dos carros.

Resolução

Como os veículos estão no mesmo sentido (velocidades de mesmo sinal), a velocidade relativa entre eles é a diferença dos módulos da velocidade:

$$v_{\text{rel(aprox.)}} = 30 - 20 = 10 \text{ m/s}$$

- b) a velocidade relativa de afastamento dos carros.

Resolução

Como os veículos continuaram no mesmo sentido, a velocidade relativa entre eles também é a diferença dos módulos da velocidade:

$$v_{\text{rel(afast.)}} = 23 - 18 = 5 \text{ m/s}$$

- c) o coeficiente de restituição da colisão.

Resolução

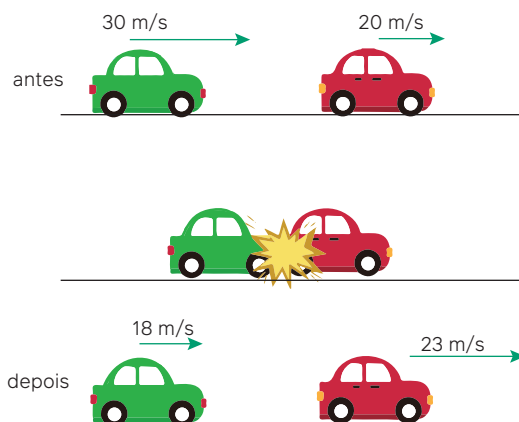
O coeficiente de restituição é dado por:

$$e = \frac{v_{Af}}{v_{Ap}} = \frac{5}{10} = 0,5$$

- d) a classificação do tipo de colisão.

Resolução

A colisão é parcialmente elástica porque o coeficiente de restituição é maior que zero e menor que 1.

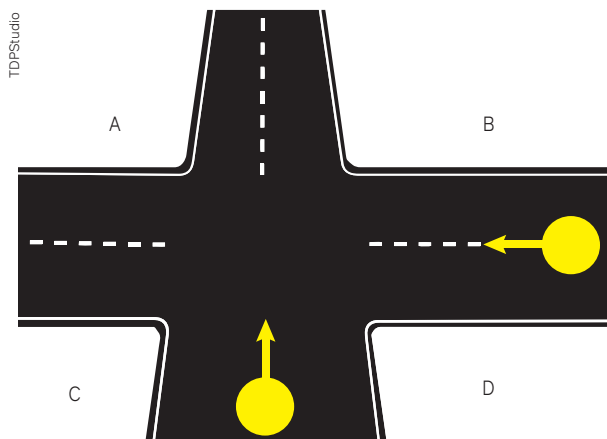


Ilustrações: TDPStudio

Atividades propostas



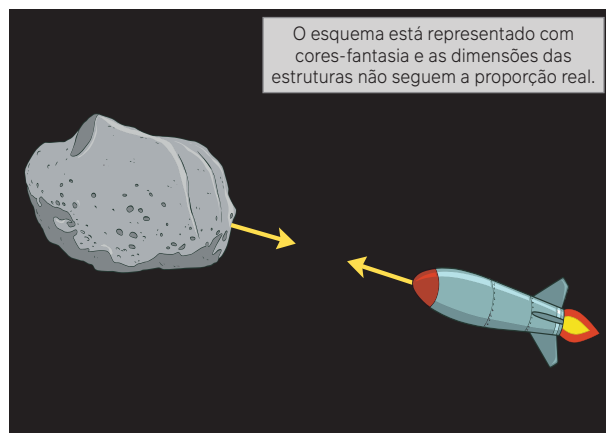
1. Em um cruzamento, dois veículos sofrem uma colisão inelástica.



Antes da colisão, os veículos percorrem vias perpendiculares entre si. A figura acima indica os momentos lineares de ambos antes da batida, bem como quatro regiões nas calçadas, **A**, **B**, **C** e **D**. Sobre a probabilidade de uma pessoa ser atingida pelos dois veículos, após a colisão:

- é maior em **A**.
- é maior em **B**.
- é maior em **C**.
- é maior em **D**.
- é a mesma em todos os pontos.

2. Um asteroide de 1000 kg se desloca rumo à Terra com velocidade de 1000 m/s.



Com que velocidade um míssil de 250 kg precisa atingir o asteroide frontalmente para que, após uma colisão inelástica, ambos fiquem em repouso em relação à Terra?

3. Em uma colisão dita inelástica:
- a energia mecânica se conserva.
 - os corpos se fragmentam.
 - os corpos se unem.
 - o momento não se conserva.
 - o impulso resultante no sistema é diferente de zero.

Recapitule



Ao longo deste capítulo, aprendemos sobre um novo princípio da conservação na Física: a conservação do momento linear (ou da quantidade de movimento) de um sistema. Vimos que a segunda lei de Newton pode ser escrita na forma do teorema do impulso e que impulso e momento linear são grandezas vetoriais.

$$\vec{I} = \Delta \vec{p}$$

Avaliamos os impactos da intensificação do trânsito na quantidade de acidentes e pudemos discutir algumas das variáveis físicas que interferem nos riscos e na precaução a acidentes de trânsito. Além disso, verificamos experimentalmente as mudanças de velocidades dos corpos nas colisões e a manutenção do momento linear total do sistema.

Conservação do momento linear (para sistemas com dois corpos):

$$p_{\text{sis antes}} = p_{\text{sis depois}}$$

$$m_A \cdot v_{iA} + m_B \cdot v_{iB} = m_A \cdot v_{fA} + m_B \cdot v_{fB}$$

Por fim, pudemos classificar diferentes tipos de colisão a partir da conservação ou não da energia, da junção ou não dos corpos e dos valores do coeficiente de restituição (e):

- $e = 1$ (colisão perfeitamente elástica); $e = 0$ (colisão inelástica); $0 < e < 1$ (colisão parcialmente elástica).

Retome as questões que constam na abertura do capítulo, no boxe **Para refletir**. Com base no que você aprendeu, como responderia a essas questões? Você alteraria alguma resposta?

Trocas e transferência de calor



Cris Faga/Shutterstock.com/Henk Hofstra/AUTVIS Brasil, 2024



Eggcident, de Henk Hofstra. A obra, que representa ovos fritos gigantes, esteve exposta na Avenida Brigadeiro Faria Lima, em São Paulo (SP), em 2023. A instalação alerta para os efeitos do aquecimento global.

▼ Para refletir

1. Como um aparelho de ar-condicionado, funcionando bem, consegue refrescar um ambiente fechado?
2. Que temperatura teria o planeta Terra se o Sol não o aquecesse?
3. Por que você se sente aquecida(o) ao usar um agasalho?
4. Como a caixa térmica impede que picolés derretam rapidamente na praia?

Objetivos do capítulo

- Investigar as relações entre sensações térmicas, temperatura e calor.
- Interpretar dados relativos às medidas de temperatura e sua relação com processos ambientais atuais.
- Compreender diferentes escalas termométricas.
- Avaliar a dilatação térmica de diferentes materiais.
- Analisar mudanças de estado físico e sua relação com mudanças de temperatura e trocas de energia térmica.

Temperatura

Que calor!

Para iniciarmos o capítulo, recuperamos algumas experiências cotidianas que envolvem grandezas térmicas cuja explicação depende do conceito de calor e, especialmente, da diferenciação entre as sensações de quente e frio, a temperatura e o calor.

Termômetros e a vida na corda bamba

Uma cena que se tornou corriqueira durante as fases mais críticas da pandemia da covid-19 era a imagem de pessoas tendo sua temperatura aferida utilizando-se termômetros com sensor infravermelho.

Com a constatação de que pessoas com sintomas gripais (como a febre) têm maior potencial de transmissão do vírus SARS-CoV-2, a medição da temperatura corporal ganhou destaque como uma ferramenta útil na identificação precoce de possíveis casos da covid-19. No entanto, é fundamental reconhecer que a febre não é o único sintoma da doença e que a presença de temperatura elevada não confirma a infecção. Dessa forma, é possível notar que os equipamentos de medição são importantes, mas não substituem as orientações dos órgãos de saúde sobre as medidas de prevenção.

Em quais situações a intensidade da temperatura representa perigo ou proteção?



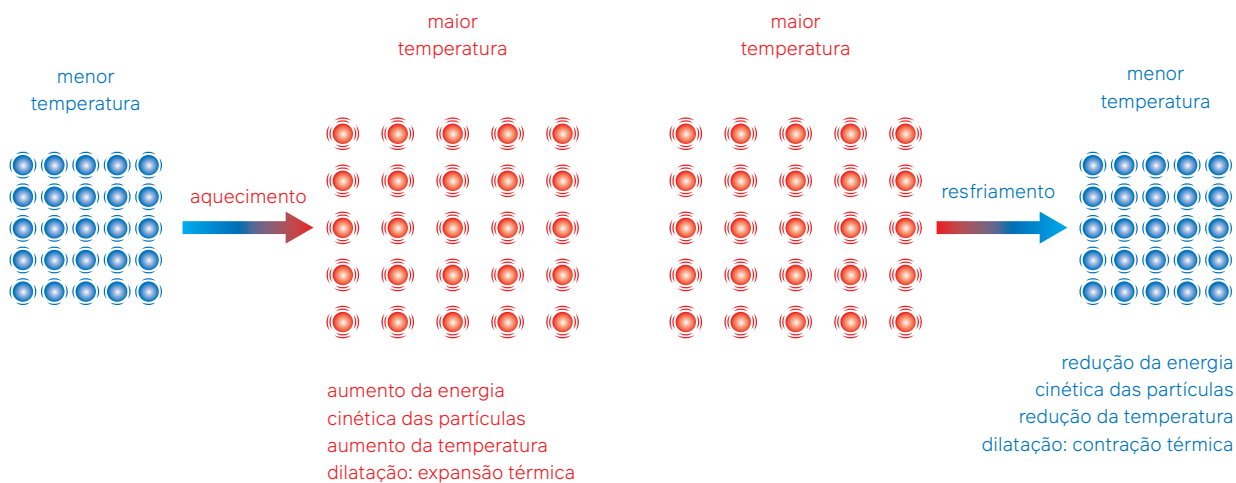
Uma criança tem sua temperatura aferida com termômetro de infravermelho.

► Ciências da Natureza

O estudo sobre saúde pode ser aprofundado no **Capítulo 24** do volume de **Biologia**.

Medidas de temperatura

Se considerarmos a composição interna da matéria, as partículas que constituem qualquer corpo estão sempre em movimento. Há energia cinética devido aos vários movimentos (rotação, translação, vibração) dessas partículas. Essa energia interna é o que chamamos de **energia térmica**, uma grandeza microscópica. A **temperatura** de um corpo é a grandeza macroscópica ligada à energia cinética das partículas, constituintes, portanto, quanto maior for a energia de movimento das partículas, maior será sua temperatura.



Adilson Secco

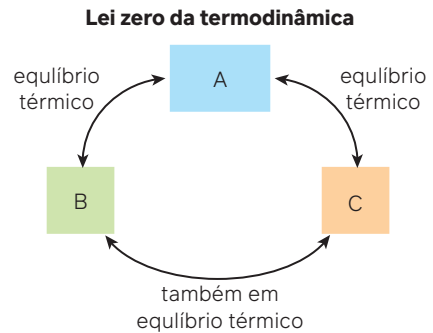
Efeitos microscópicos da mudança de temperatura nos materiais.

A imagem mostra a relação dos fenômenos em nível microscópico (mudança da energia cinética das moléculas) e em nível macroscópico: variação da temperatura e variação das dimensões do material, que chamamos, indistintamente, de dilatação (expansão ou compressão térmicas).

Quando dois corpos estão com a mesma temperatura, dizemos que eles estão em **equilíbrio térmico**. O equilíbrio térmico é um conceito-chave para a medição da temperatura: um termômetro é colocado sob seu braço e estará na mesma temperatura do braço quando atingir o equilíbrio térmico com ele.

A lei zero da Termodinâmica

O equilíbrio térmico promove uma consequência que nos interessa: podemos verificar se duas pessoas estão com a mesma temperatura usando um termômetro como verificador intermediário. Se um termômetro (**A**) tem uma marcação, está em equilíbrio térmico com o braço de uma pessoa (**B**) e tem a mesma marcação quando está em equilíbrio térmico com outra pessoa (**C**), podemos dizer que as pessoas **B** e **C** também estão em equilíbrio térmico e têm, portanto, a mesma temperatura. Essa é a chamada **lei zero da Termodinâmica**.



Fonte: TIPLER, P. *Física*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

Representação esquemática da lei zero da Termodinâmica.

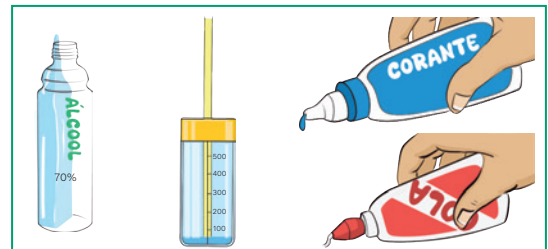
Ciência por dentro

Construindo um termômetro simples

Nesta atividade de construção, vamos usar as propriedades da dilatação regular de um líquido para construir um termômetro simples.

Material:

- álcool 70%;
- corante (pode ser corante alimentar);
- garrafa transparente pequena com tampa, canudo e marcação de capacidades;
- cola ou massinha de modelar.

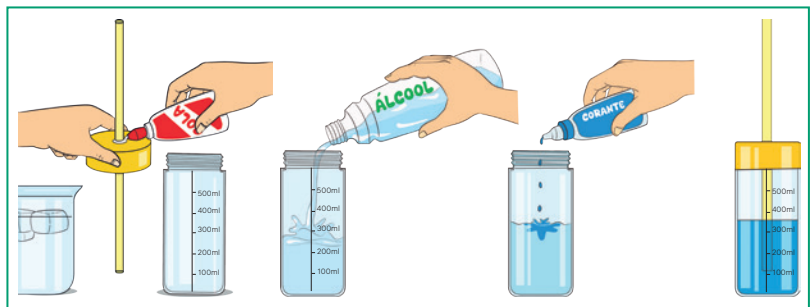


TDPStudio

Montagem

Cole o canudo na tampa da garrafa, de modo a vedar a entrada de ar ao redor do canudo; não deixe que o canudo encoste no fundo da garrafa.

Insira o álcool na garrafa, misture algumas gotas de corante e tampe bem.



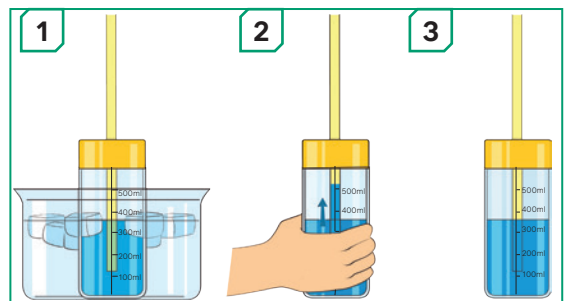
TDPStudio

Procedimento

1. Coloque a garrafa em um recipiente com água gelada e avalie a coluna de álcool dentro do canudo.
2. Abrace com as mãos a porção de álcool na garrafa e avalie o que acontece com a coluna de álcool dentro do canudo.
3. Coloque a garrafa sobre uma superfície em temperatura ambiente e avalie a coluna de álcool dentro do canudo.

Trocando ideias

1. Quais foram as variáveis que mais influenciaram na variação da altura da coluna de álcool?
2. O que acontece se a tampa não estiver bem vedada no ponto em que entra o canudo?
3. Pensando na estrutura dos materiais, de que maneira a variação da temperatura promove variação da coluna no canudo?
4. Ainda no âmbito da estrutura dos materiais, qual é o papel da energia de movimento das partículas no processo de aferição da temperatura?



TDPStudio

Escalas termométricas

Se graduarmos o canudo do termômetro no experimento anterior, construímos sobre ele uma escala de medidas de temperatura. Assim também é feito com termômetros da área médica, termômetros de estações meteorológicas e outros. Para que uma escala termométrica seja criada, é necessário escolher um material cujo comportamento frente à variação de temperatura seja regular, isto é, a variação na grandeza termométrica que se escolheu seja proporcional à variação de temperatura. Supondo que uma grandeza com dimensão de comprimento seja a escolhida (por exemplo, a altura da coluna do líquido termométrico no termômetro), outras duas informações são importantes: primeiro, a indicação de dois pontos de referência **arbitrários** na escala; depois, a indicação de quantas divisões a escala terá entre esses dois pontos.

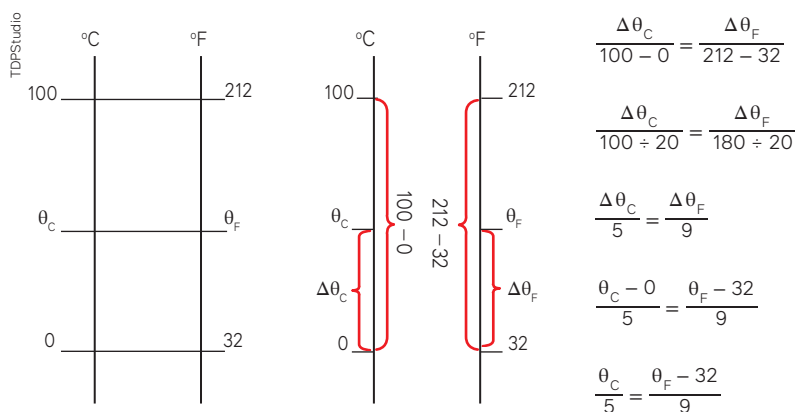


Termômetros de rua indicando a mesma temperatura local. O termômetro (A), localizado na Espanha cuja unidade padrão é °C, marca 30 °C, enquanto o termômetro (B) localizado nos EUA marca 86 °F.

Falamos corriqueiramente em temperaturas usando a unidade **graus Celsius** (°C), unidade que homenageia o físico sueco Anders Celsius (1701-1744). Em alguns países, a temperatura é medida em **graus Fahrenheit** (°F), em referência ao físico e engenheiro alemão Daniel G. Fahrenheit (1686-1736). A referência aos dois cientistas é um reconhecimento da importância de suas ideias originais para a criação de escalas termométricas. Para Celsius, a temperatura do gelo fundindo e a temperatura da água fervendo foram os dois pontos de referência escolhidos, e o intervalo entre esses valores foi dividido em cem partes iguais. Na escala Fahrenheit atual, atribui-se o zero à menor temperatura que uma mistura de sal e água poderia atingir, algo equivalente a um dia muito frio de inverno no norte da Europa, e atribui-se o valor 100 à temperatura aproximada do corpo humano febril, algo equivalente a um dia bem quente de verão.

Com os elementos reunidos na comparação entre as escalas, é possível obter a relação matemática que fornece, para qualquer valor de temperatura em graus Celsius, a temperatura correspondente em graus Fahrenheit e vice-versa. Perceba que, no intervalo entre a temperatura do gelo fundente e a temperatura da água em ebulição, as variações de temperatura na escala Celsius são proporcionais a 100 divisões, assim como as variações de temperatura na escala Fahrenheit são proporcionais a 180 divisões.

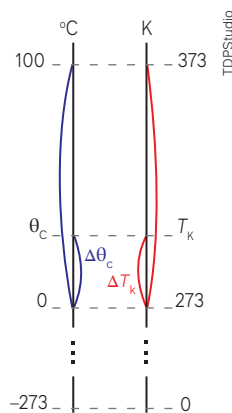
Demonstração da equação de conversão entre temperaturas Celsius e Fahrenheit.



Comparação entre os pontos de referência das escalas Celsius e Fahrenheit.

A escala absoluta de temperatura

Se a temperatura é uma medida ligada à energia das partículas, não seria razoável atribuímos o valor zero à temperatura na qual a energia das partículas fosse zero? Embora essa ideia faça sentido, seria impossível atingirmos esse estado, pois, se as partículas com (suposta) energia nula estão em algum recipiente ou em contato com algum corpo, elas trocariam energia e já não teriam mais energia nula. Entretanto, com o estudo dos gases, mostrou-se que há um valor teórico no qual o zero de temperatura seria um zero absoluto. As escalas de temperatura nas quais o zero tem esse valor teórico são chamadas de **escalas absolutas**. A escala absoluta mais utilizada é a escala Kelvin, em referência ao físico, matemático e engenheiro escocês William Thomson (1824-1907), Lord Kelvin, que possui divisões iguais às da escala Celsius, mas com o zero posicionado no zero absoluto. A conversão da escala Celsius para a escala Kelvin é feita da mesma forma.



$$\frac{\Delta \theta_C}{100 - 0} = \frac{\Delta T_K}{373 - 273}$$

$$\frac{\Delta \theta_C}{100} = \frac{\Delta T_K}{100}$$

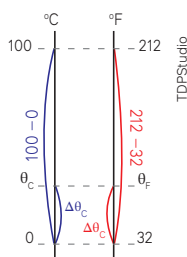
$$\theta_C - 0 = T_K - 273$$

$$\theta_C = T_K - 273$$

Comparação entre os pontos de referência das escalas Celsius e Kelvin e equação de conversão.

Atividades comentadas

1. Em um dia de verão, os termômetros de uma cidade marcavam 35 °C. Qual seria essa medida de temperatura caso o termômetro da cidade estivesse graduado na escala Fahrenheit?

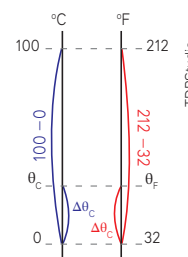


Resolução

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \theta_C}{100 - 0} &= \frac{\Delta \theta_F}{212 - 32} \Rightarrow \frac{\Delta \theta_C}{100} = \frac{\Delta \theta_F}{180} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{\Delta \theta_C}{5} &= \frac{\Delta \theta_F}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C - 0}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{35 - 0}{5} &= \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \frac{35}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \\ \Rightarrow 7 &= \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow 7 \cdot 9 = \theta_F - 32 \Rightarrow \\ \Rightarrow 63 &= \theta_F - 32 \Rightarrow 63 + 32 = \theta_F \\ \therefore \theta_F &= 95 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

A temperatura seria de 95 °F.

2. As escalas termométricas Celsius e Fahrenheit podem indicar valores diferentes para a mesma temperatura. Há, no entanto, um único estado térmico em que a temperatura é indicada por valores iguais, nas duas escalas. Que temperatura é essa?



Resolução

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \theta_C}{100 - 0} &= \frac{\Delta \theta_F}{212 - 32} \Rightarrow \frac{\Delta \theta_C}{100} = \frac{\Delta \theta_F}{180} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{\Delta \theta_C}{5} &= \frac{\Delta \theta_F}{9} \Rightarrow \frac{\theta_C - 0}{5} = \frac{\theta_F - 32}{9} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{X}{5} &= \frac{X - 32}{9} \Rightarrow 9X = 5(X - 32) \Rightarrow \\ \Rightarrow 9X &= 5X - 160 \Rightarrow 9X - 5X = -160 \Rightarrow \\ \Rightarrow 4X &= -160 \Rightarrow X = -40 \\ \therefore X &= -40 \text{ } ^\circ\text{C} = -40 \text{ } ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Essa temperatura é -40 °C ou -40 °F.

Atividades propostas



- Você construiu uma escala termométrica nova (**N**) que indica a temperatura de 100 °N para a temperatura do gelo fundente e a temperatura de 300 °N para a água em ebulição. A que temperatura em °C a medida de 200 °N corresponde?
- Considere uma escala de temperatura que tenha como temperatura aproximada do corpo humano (36 °C) o valor de 0 °M, e que tenha para uma pessoa com febre alta (42 °C) a temperatura de 100 °M. Qual é a indicação de temperatura na escala **M** para uma pessoa com 37,5 °C?

Dilatação e contração térmicas

Ciência por fora

Dimensionamento de juntas em acabamento de pisos e fachadas

No âmbito da construção civil, juntas são intervalos que separam pedras, tijolos, estruturas metálicas ou cimentícias, justapostos ou superpostos, que podem ser preenchidos com algum material ou não. O texto a seguir discute as funcionalidades destes elementos construtivos.

O que é uma junta de dilatação?

[...] As juntas de dilatação são previstas para absorver os movimentos das estruturas, devido principalmente as variações térmicas. São indispensáveis na prevenção de trincos e quebras estruturais nos edifícios. Também são conhecidas como juntas estruturais, principalmente nos encontros – emendas – de construções novas, com existentes ou antigas – aplicações. Sem essas juntas de dilatação, irão ocorrer fissuras, trincas, esmagamentos e até deformações nas estruturas. Se não previstas irão gerar danos extremamente difíceis de se sanar mais tarde, que comprometerão a estrutura, acabamento e aparência final.

Como dimensionar uma junta de dilatação?

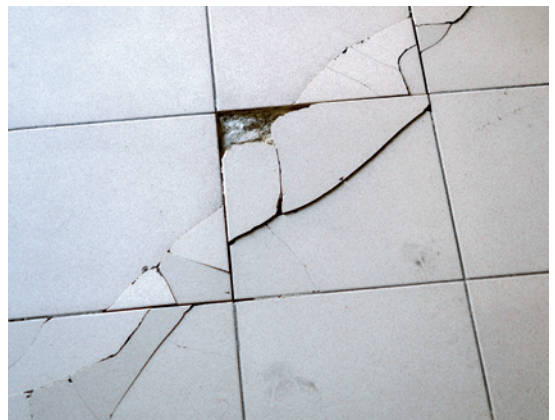
O tamanho (largura) das juntas de dilatação depende de vários fatores gerados durante o desenvolvimento dos projetos e normalmente são determinados pela engenharia estrutural (cálculo estrutural). O dimensionamento dessas juntas consiste em determinar o afastamento necessário entre as estruturas para permitir movimentações sem danos nas mesmas. Alguns fatores afetam a localização e o tamanho dessas juntas de dilatação:

- A estimada expansão e contração térmica da superestrutura, zonas sujeitas a movimentações sísmicas.
- Ação de ventos e acomodação do solo.
- As dimensões – comprimento e largura do edifício – bem como sua utilização
- Sobrecarga e sollicitação estrutural.
- Tipos de materiais e sistemas construtivos empregados.
- Retração dos materiais empregados (cura do concreto, etc.).

Na prática o valor de 20 mm - 2,0 cm - a uma temperatura de 20 °C, atende as necessidades de peças estruturais de concreto armado com comprimento de até 30 metros lineares.

[...]

Fonte: O QUE É uma junta de dilatação? In: COSIMO CATALDO LTDA. [São Paulo], [20--]. Disponível em: <https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/7859/31182/juntas%20aec%20web.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2024.



Quando o projeto não prevê as juntas de dilatação, a estrutura não absorve os movimentos do conjunto e pode sofrer rachaduras, fissuras ou esmagamentos.

Trocando ideias

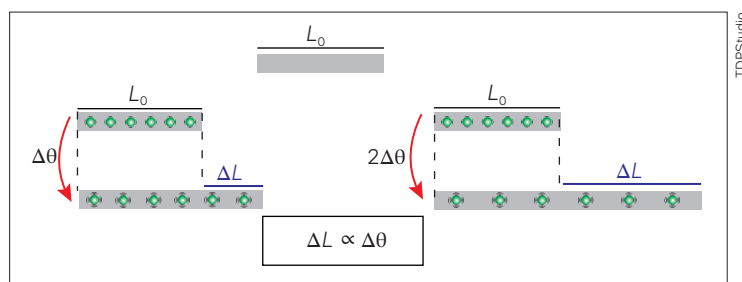
1. De acordo com o texto, o espaçamento entre elementos precisa ser calculado. Por que não é possível estabelecer um espaçamento padrão para todos os casos?
2. Quando uma variável V é diretamente proporcional a n variáveis independentes (x_1, x_2, \dots, x_n) , podemos dizer que V é diretamente proporcional ao produto das n variáveis. Em outras palavras, $V \propto x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$.
 - a) Indique três grandezas que, na sua percepção, determinam o tamanho da junta de dilatação.
 - b) Escreva uma relação entre o tamanho da junta de dilatação e as grandezas indicadas no item anterior.

Dilatação linear

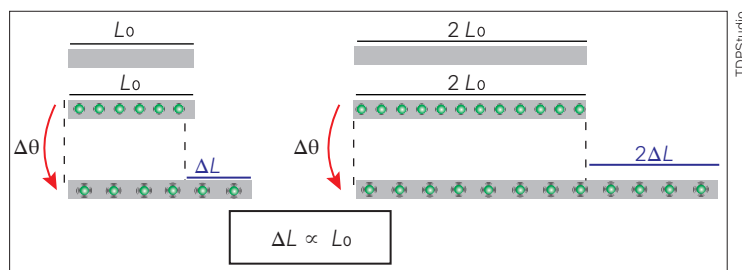
O funcionamento de um termômetro de álcool depende da variação do volume do álcool. O álcool aquecido se dilata, e se expande, por isso a coluna colorida sobe no termômetro. Da mesma forma, o álcool resfriado se contrai e desce na coluna do termômetro. Essa é uma propriedade que todo material possui: a de variar suas dimensões com a variação de temperatura. A esse processo, chamamos **dilatação térmica**.

Um modelo matemático para estudar a dilatação pode ser feito observando somente as variáveis de interesse. Vamos observar, em uma única dimensão (em uma reta), a dilatação e suas variáveis relevantes.

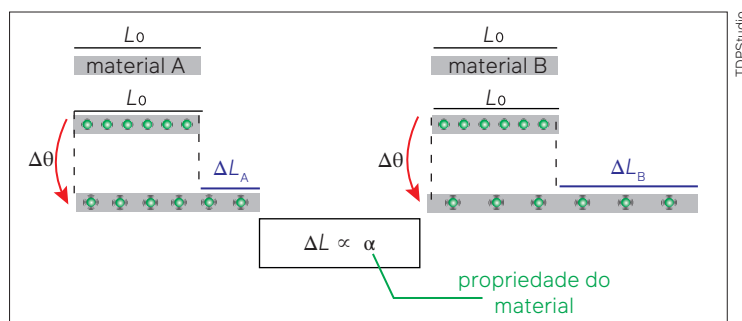
Primeiro, se dois corpos de mesmo comprimento L_0 e mesmo material sofrerem aquecimentos diferentes, como $\Delta\theta$ e $2\Delta\theta$, os corpos sofrerão dilatações ΔL e $2\Delta L$, respectivamente. Em outras palavras, a variação do comprimento ΔL de um corpo é diretamente proporcional à variação de temperatura $\Delta\theta$ que esse corpo sofre.



Caso tomemos duas situações de mesma variação de temperatura $\Delta\theta$, mas que ocorrem em dois corpos do mesmo material com comprimentos iniciais L_0 e $2L_0$, as variações de comprimento serão ΔL e $2\Delta L$, respectivamente. A variação do comprimento ΔL é proporcional ao comprimento inicial L_0 .



Podemos ter situações de corpos de mesmo comprimento inicial L_0 e com os corpos sofrendo a mesma variação de temperatura $\Delta\theta$, mas se eles forem constituídos de materiais diferentes, poderão sofrer variações de comprimento ΔL diferentes. Cada material se comporta termicamente de modo peculiar; há uma grandeza – chamaremos coeficiente de dilatação linear, representado pela letra grega α – que indica esse comportamento, de material para material. A variação de comprimento ΔL é também proporcional a esse coeficiente.



A sentença que considera as três proporcionalidades é chamada **equação da dilatação linear**.

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta\theta$$

Nessa igualdade:

L_0 = comprimento inicial do sólido;

α = coeficiente de dilatação linear;

$\Delta\theta$ = variação de temperatura;

ΔL = variação do comprimento.

Sobre o coeficiente α

Fatores como a estrutura atômica dos elementos constituintes do material, ligações intermoleculares, empacotamento ou massa específica influenciam os valores dos coeficientes de dilatação.

Tabela – Coeficientes de dilatação linear para vários materiais									
Material	aço	latão	alumínio	cobre	ferro	níquel	chumbo	vidro comum	vidro refratário
Coeficiente de dilatação linear (α em $^{\circ}\text{C}^{-1}$)	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$0,9 \cdot 10^{-5}$	$0,3 \cdot 10^{-5}$

Fonte: THE PERIODIC table of the elements. *WebElements*, [s. l.], c2024. Disponível em: <https://webelements.com/>. Acesso em: 7 ago. 2024.

Se liga

A unidade do coeficiente de dilatação linear é o inverso de grau Celsius ($^{\circ}\text{C}^{-1}$). Vejamos o motivo.

A equação $\Delta L = L_0 \alpha \Delta \theta$ precisa ser dimensionalmente homogênea, isto é, as unidades do primeiro e do segundo membro da igualdade precisam ser as mesmas. Se no primeiro membro figura uma grandeza cuja dimensão é comprimento, então as grandezas do segundo membro devem compor uma quantidade cuja dimensão deve ser de comprimento também. Assim, a unidade de α deve cancelar a unidade de $\Delta \theta$, que é $^{\circ}\text{C}$. Logo, coeficiente de dilatação linear é uma grandeza que se mede em $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

$$\Delta L_0 = L_0 \alpha \Delta \theta \longrightarrow \frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta \theta \longrightarrow \frac{\frac{\Delta L}{L_0}}{\Delta \theta} = \alpha$$

adimensional $\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha$ unidade do coeficiente de dilatação térmica $[\alpha] = \frac{1}{^{\circ}\text{C}} = ^{\circ}\text{C}^{-1}$

unidades de temperatura $\frac{\Delta L}{\Delta \theta} = \alpha$

Então, a unidade $^{\circ}\text{C}^{-1}$ representa a rapidez da mudança da relação entre comprimento final e comprimento inicial ($\Delta L/L_0$) a cada unidade de temperatura.

Atividades comentadas

- O cobre é uma substância que possui coeficiente de dilatação linear $\alpha = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$. Um tubo de cobre tem 10 m de comprimento em um dia frio ($18 \text{ } ^{\circ}\text{C}$). Qual é o aumento de comprimento ΔL desse tubo se a temperatura do ambiente subir para $28 \text{ } ^{\circ}\text{C}$?

Resolução

$$\begin{aligned} \Delta L &= L_0 \alpha \Delta \theta \Rightarrow \Delta L = 10 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot (28 - 18) \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta L &= 10 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 10 \therefore \Delta L = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ m} \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta L &= 1,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Os trilhos de trem sempre possuem afastamento nas juntas para evitar problemas com dilatação.



Junta de dilatação em trilho de trem.

Se cada peça de trilho possui 25 m de comprimento em um dia de temperatura $15 \text{ } ^{\circ}\text{C}$, qual será o comprimento das peças em um dia de temperatura $35 \text{ } ^{\circ}\text{C}$? Dado: $\alpha_{\text{ferro}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Resolução

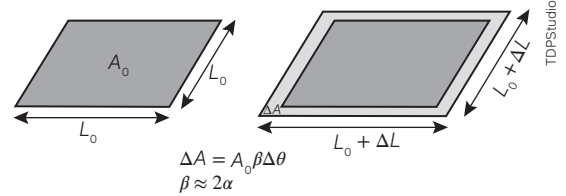
Nesse caso, deseja-se saber não a quantidade dilatada (ΔL), mas sim o comprimento final da peça do trilho:

$$\begin{aligned} \Delta L &= L_0 \alpha \Delta \theta \Rightarrow L_f - L_0 = L_0 \alpha (\theta_f - \theta_0) \Rightarrow \\ \Rightarrow L_f &= L_0 + L_0 \alpha \Delta \theta \Rightarrow \\ \Rightarrow L_f &= 25 + 25 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot (35 - 15) \Rightarrow \\ \Rightarrow L_f &= 25 + 25 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \Rightarrow \\ \Rightarrow L_f &= 25 + 6\,000 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \\ \Rightarrow L_f &= 25 + 0,006 \therefore L_f = 25,006 \text{ m} \end{aligned}$$

Dilatação superficial e volumétrica

Da mesma maneira que corpos lineares se dilatam, uma superfície de área inicial (A_0) também sofre uma variação (ΔA) ao enfrentar uma mudança de temperatura ($\Delta\theta$).

Vamos demonstrar como a variação da área (ΔA) pode ser obtida a partir da área inicial (A_0) e dos lados dilatados da superfície; sem perda da generalidade, usamos para simplificar um quadrado de lado L_0 :



Dilatação superficial com a variação da temperatura.

$$A_0 = L_0^2$$

$$\Delta A = A_f - A_0$$

$$\Delta A = (L_0 + \Delta L)^2 - L_0^2$$

$$\Delta A = L_0^2 + 2L_0\Delta L + \Delta L^2 - L_0^2$$

$$\Delta A = 2L_0\Delta L + (L_0\alpha\Delta\theta)^2$$

$$\Delta A = 2L_0L_0\alpha\Delta\theta + (L_0\alpha\Delta\theta)^2$$

$$\Delta A = L_0^2 2\alpha\Delta\theta + L_0^2\alpha^2\Delta\theta^2$$

$$\Delta A = 2L_0\Delta L + \Delta L^2$$

$$2L_0\Delta L \gg \Delta L^2 \rightarrow \Delta A \approx 2L_0\Delta L$$

$$\Delta A = L_0^2 2\alpha\Delta\theta$$

$$\Delta A = A_0 \beta \Delta\theta$$

O fator 2α pode ser entendido como um coeficiente de dilatação superficial β , que é o dobro do coeficiente de dilatação linear. Assim, chamamos a igualdade de **equação da dilatação superficial**.

$$\Delta A = A_0 \beta \Delta\theta$$

$$\beta \approx 2\alpha$$

Nessa igualdade:

A_0 = área inicial da superfície;

β = coeficiente de dilatação superficial;

$\Delta\theta$ = variação de temperatura;

ΔA = variação da área.

De modo análogo, quando variamos a temperatura de um corpo, seu volume também sofre variação. Pode-se demonstrar que o coeficiente de dilatação volumétrica γ é o triplo do coeficiente de dilatação linear $\gamma \approx 3\alpha$.

Equação da dilatação volumétrica:



$$\Delta V = V_0 \gamma \Delta\theta$$

$$\gamma \approx 3\alpha$$

Nessa igualdade:

V_0 = volume inicial do sólido;

γ = coeficiente de dilatação volumétrica;

$\Delta\theta$ = variação de temperatura;

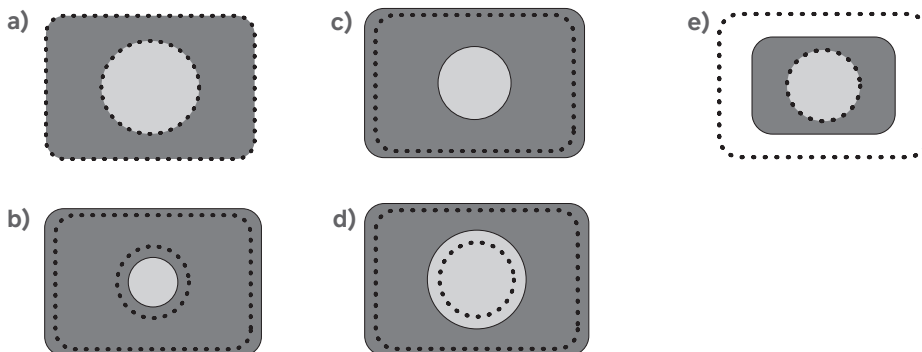
ΔV = variação do volume.

Dilatação volumétrica com a variação da temperatura.

Atividades propostas



1. Uma chapa perfurada, feita de material metálico, é aquecida. Na imagem ao lado, a linha pontilhada indica as dimensões da chapa e do furo. Após ser aquecida, quais serão as novas dimensões da chapa e do furo?



2. É comum comprarmos combustível de automóvel pagando por litro. Considerando que o combustível é líquido e a dilatação dos materiais, marque a alternativa correta.

- A temperatura não influencia no volume do combustível.
- Em dias quentes é, financeiramente, vantajoso abastecer.
- Comprar combustível por massa (kg) e não por volume (litros) evita o problema.
- Em dias frios é, financeiramente, desvantajoso abastecer.
- Comprar combustível por massa (kg) ou por volume (litros) não faz diferença do ponto de vista da dilatação.

Troca de energia térmica: a calorimetria

Durante muito tempo, pensou-se que havia um fluido invisível e incolor, chamado calórico, envolvido nas transformações químicas e nas mudanças de temperatura. Hoje sabemos que não se trata de um fluido, mas sim de porções de energia que podem ser trocadas entre corpos que possuem diferentes temperaturas. A essas porções de energia (dadas em joule ou em outra unidade de energia) damos o nome **calor**.

Se liga

Chamamos de calor apenas a porção de energia trocada. A energia térmica de um corpo é chamada de **energia interna**. Por exemplo, um corpo pode ter 100 J de energia interna e pode transferir 30 J para outro corpo. Os 30 J trocados representam o calor trocado. Nesse caso, nenhum corpo possui calor, pois calor é somente a quantidade trocada.

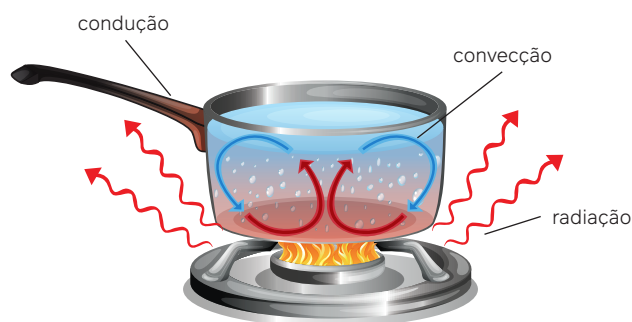
É comum usarmos a unidade caloria (cal) para nos referirmos à energia térmica: $1 \text{ cal} \approx 4 \text{ J}$.

Processos de transferência de calor

Corpos de maior temperatura possuem, em média, partículas com mais energia cinética. Alguma quantidade da energia é transferida sempre que um outro corpo de menor temperatura está nas vizinhanças. Em outras palavras, a troca de calor acontece sempre com o corpo de maior temperatura cedendo energia para o corpo de menor temperatura.

A transferência de energia térmica pode se dar por três processos:

- por (i) **condução**, que é uma transferência de energia por meio de sólidos, dependente de contato e podendo acontecer mais rapidamente ou mais lentamente conforme o material;
- por (ii) **convecção**, quando o movimento de um líquido ou de um gás promove correntes, levando partes de maior temperatura mais para cima e partes de menor temperatura, mais densas e mais pesadas, para baixo;
- por (iii) **irradiação**, quando ondas eletromagnéticas, especialmente na faixa do infravermelho, são emitidas (radiação) e interagem (irradiação) com a matéria promovendo o aquecimento. A radiação é a única das três que permite transferência de calor no vácuo.



Transferência de calor. No aquecimento de uma porção de água, no fogão, tem-se os três processos: a chama aquece a panela, que aquece o cabo e as camadas inferiores de água por condução; as camadas superiores são aquecidas por convecção; e o calor é perdido para o ambiente por radiação.

Capacidade térmica e calor específico

Se é a troca de calor que permite o aquecimento ou o resfriamento dos corpos, podemos perceber que tais variações de temperatura são características dos corpos que recebem ou que cedem uma certa quantidade de calor. Em outras palavras, a mesma quantidade de calor pode acarretar variações de temperatura diferentes em corpos diferentes. Essa característica é chamada de **capacidade térmica** ou **calorífica**.

Considere a situação hipotética em que dois objetos distintos **A** e **B** recebem a mesma quantidade de calor:



Representação de diferentes capacidades térmicas para diferentes corpos.

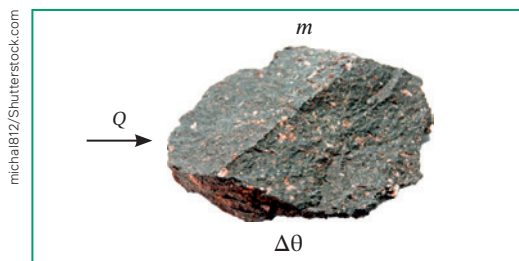
O corpo **A** recebeu 100 cal e aqueceu-se em 2 °C; pode-se entender que são necessárias, em média, 50 cal para que esse corpo varie a temperatura de 1 °C. Então, dizemos que a **capacidade térmica** do corpo **A** é de 50 cal/°C.

O corpo B recebeu 100 cal e aqueceu-se de 5 °C; assim, pode-se também entender que são necessárias, em média, 20 cal para que esse corpo varie a temperatura de 1 °C. Então, dizemos que a **capacidade térmica** do corpo **B** é de 20 cal/°C.

A capacidade térmica (C) é a relação entre a quantidade de calor trocada e a variação de temperatura ocorrida em um corpo. Em outras palavras:

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta}$$

É preciso entender não apenas o comportamento térmico do corpo, mas como cada unidade de massa de material se aquece ao receber calor ou se resfria ao ceder. Neste caso, estamos tratando do **calor específico** do material.



Variáveis relevantes para a obtenção do calor específico do material: a quantidade de calor trocada (Q), a massa de material envolvida (m) e a variação de temperatura (Δθ).

O calor específico (c) indica a quantidade de calor necessária para que cada unidade de massa de material (grama, ou outra unidade de massa) varie de uma unidade de temperatura (°C ou outra unidade). Em outras palavras,

$$c = \frac{Q}{m\Delta\theta}$$

Se liga

Capacidade térmica e calor específico são grandezas relacionadas pelas mesmas variáveis, mas são aplicadas a objetos de estudo diferentes. Enquanto a capacidade térmica é uma característica do objeto, portanto, uma grandeza macroscópica, o calor específico é uma característica do material, tabelada para substâncias. As unidades de medida também se diferem: a da capacidade térmica é medida em cal/g, e a do calor específico é medido em cal/g · °C.

Tabela – Calores específicos para diferentes substâncias									
Substância	chumbo	ferro	alumínio	óleo	gelo (-10 °C)	álcool etílico	hélio	água	amoníaco
Calor específico (cal/g · °C)	0,030	0,107	0,212	0,310	0,500	0,600	1,24	1,000	1,070

Fonte: KELLER, F. J.; GETTYS, W. E.; SKOVE, M. J. *Física*. 2. ed. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1999. v. 2.

O calor específico (c) é dado pela relação $c = \frac{Q}{m\Delta\theta}$. Uma forma de apresentar a mesma relação é indicarmos de modo isolado, a quantidade de energia trocada (Q):

$$Q = mc\Delta\theta$$

Essa relação é chamada de **equação da calorimetria** e é normalmente utilizada para medirmos o calor trocado em função das variações de temperatura do objeto ou da substância que está em análise.

Para o caso da água, a quantidade de calor necessária para aquecer 1 g de água em 1 °C é o que definimos como 1 cal, ou seja, o valor do calor específico da água é 1 cal/g · °C.

Atividades comentadas

1. Uma chaleira elétrica fornece 4000 cal de energia térmica a uma massa de 500 g de água. Qual será o aquecimento sofrido pela massa de água ao receber essa quantidade de calor?

Resolução

O calor específico da água é 1 cal/g · °C, pela definição de 1 cal. Então, o aquecimento sofrido será:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 4000 = 500 \cdot 1 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = \frac{4000}{500} \therefore \Delta\theta = 8 \text{ }^\circ\text{C}$$

2. A capacidade térmica da água de uma pequena piscina é de 900 000 cal/°C.

a) Qual a quantidade de energia necessária, em Joules, para aquecer essa piscina em 16 °C?

Resolução

$$Q = C \cdot \Delta\theta \Rightarrow Q = 900\,000 \cdot 16$$

$$\therefore Q = 14\,400\,000 \text{ cal}$$

$$Q = 14\,400\,000 \cdot 4 \text{ J} \Rightarrow Q = 57\,600\,000 \text{ J}$$

- b) Sabendo que uma conta de energia elétrica é cobrada no valor de R\$ 1,00 para cada kWh consumido e que 1 kWh corresponde a 3 600 000 J, determine o valor a ser pago pela energia necessária para aquecer essa piscina.

Resolução

$$1 \text{ kWh} \rightarrow 3\,600\,000 \text{ J}$$

$$E \rightarrow 57\,600\,000 \text{ J}$$

$$E = \frac{57\,600\,000}{3\,600\,000} \therefore E = 16 \text{ kWh}$$

Dado que o consumo de 1 kWh equivale a R\$ 1,00 e que foram consumidos 16 kWh, o valor a ser pago pela energia é de R\$ 16,00.

Trocas de calor em um calorímetro

Você já se perguntou por que as latinhas de suco resfriam quando colocadas dentro de uma caixa térmica contendo gelo ou água gelada?

Recipientes termicamente isolados permitem que trocas de calor só ocorram entre os corpos que estão dentro deles. Os recipientes desse tipo, como caixas de isopor e garrafas térmicas, são chamados de **calorímetros**. Isso porque, com esses recipientes, podemos estudar as quantidades de calor trocadas. Os corpos de maior temperatura liberam energia térmica para os corpos de menor temperatura. Uma vez que a energia não é trocada com o ambiente, se o calorímetro for ideal, a soma do calor liberado por um corpo e do calor recebido por outro terá resultado igual a zero.

$$\sum Q_{\text{int}} = 0 \Rightarrow Q_A + Q_B + Q_C + \dots + Q_n = 0$$
$$m_A c_A \Delta\theta_A + m_B c_B \Delta\theta_B + \dots + m_n c_n \Delta\theta_n = 0$$



Caixa térmica contendo latas de suco e gelo.

Essa expressão é outra maneira de se escrever o princípio de conservação da energia, aqui no contexto térmico. No caso de calorímetros reais, que também trocam calor com os outros corpos, seu calor trocado entrará na conta. O que chama a atenção é que, após um certo tempo, todos os corpos dentro do calorímetro terão atingido o **equilíbrio térmico**, ou seja, estarão em mesma temperatura.

Atividades comentadas

1. Dentro de um calorímetro ideal, mistura-se 200 g de água, inicialmente a 50 °C, e 400 g de água, inicialmente a 5 °C. Qual será a temperatura final de equilíbrio dessas quantidades de água?

Resolução

$$\sum Q_{\text{int}} = 0$$

$$Q_A + Q_B = 0$$

$$m_A c_A \Delta\theta_A + m_B c_B \Delta\theta_B = 0$$

$$200 \cdot 1 \cdot (\theta_f - 50) + 400 \cdot 1 \cdot (\theta_f - 5) = 0$$

$$200\theta_f - 10\,000 + 400\theta_f - 2\,000 = 0$$

$$600\theta_f = 12\,000$$

$$\theta_f = \frac{12\,000}{600}$$

$$\therefore \theta_f = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

A temperatura de equilíbrio será de 20 °C.

Atividades propostas



1. Quanta massa de água a 0 °C deve ser misturada com 300 g de água a 40 °C para que se tenha água a 10 °C?
2. Para aquecer uma piscina de 1000 L de água, inicialmente a 8 °C até a temperatura de 33 °C, uma pessoa teve a ideia de jogar dentro da água um bloco de ferro inicialmente a 78 °C. Que massa deve ter o bloco de aço para que esse equilíbrio térmico seja alcançado?
Dados: densidade da água $d = 1000 \text{ g/L}$ e calor específico do ferro $c_{\text{Fe}} = 0,11 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$.

Potência

Quando falamos em trocas de calor, podemos ter a energia térmica trocada mais rapidamente ou mais lentamente. A taxa de energia trocada em relação ao tempo é chamada de **potência** (P). A potência indica a quantidade de energia trocada (ΔE) por um sistema qualquer em um intervalo de tempo dado (Δt). No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de potência é joule por segundo (J/s) ou watt (W).

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \left[\text{W} = \frac{\text{J}}{\text{s}} \right]$$

$$P = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$P = \frac{\tau}{\Delta t}$$

Em situações de trabalho mecânico, a potência é dada pela quantidade de trabalho (τ) realizado a cada segundo. Em situações de trocas térmicas, a potência é dada pela quantidade de calor trocado (Q) a cada segundo. Em outras situações, a potência é dada pela troca energética, qualquer que seja sua origem, a cada segundo.

Atividades comentadas



1. Um chuveiro elétrico possui potência de 4000 W. Quando ligado, a energia liberada pelo chuveiro é integralmente utilizada para aquecer a água. Considerando $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$ e a densidade da água como sendo 1000 g/L , determine:

- a) a energia liberada pelo chuveiro em 30 s de funcionamento.

Resolução

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

$$4000 = \frac{\Delta E}{30}$$

$$E = 120000 \text{ J}$$

A energia liberada pelo chuveiro foi de 120000 J.

- b) a variação de temperatura que 12 L de água sofreriam nesses 30 s, devido à liberação de calor pelo chuveiro.

Resolução

$$Q = mc\Delta\theta$$

$$120000 = 12000 \cdot 1 \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = 10^\circ\text{C}$$

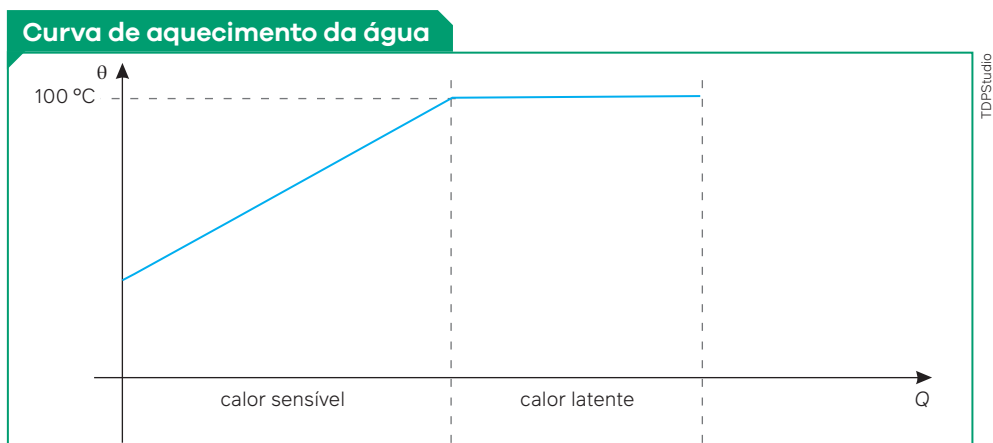
A variação de temperatura foi de 10°C .

Mudança de estado físico

Até agora, vimos como se comportam as substâncias quando recebem calor e se aquecem, ou quando liberam calor e resfriam. Mas em todos os casos, as substâncias não mudaram de estado físico. Então, como acontece a troca de calor na fusão do gelo, por exemplo? E na ebulição da água? Durante a mudança de estado físico, a energia trocada com a substância não provoca mudanças de temperatura, pois essa energia está atuando na estrutura física da substância para levá-la do estado sólido para o líquido ou do líquido para o gasoso. Se pegarmos água à temperatura ambiente e colocarmos um termômetro para medirmos seu aquecimento em uma panela, veremos que, inicialmente, ela recebe calor e aumenta sua temperatura. Ao chegar a 100°C , temperatura na qual a água entra em ebulição à pressão atmosférica normal, mesmo se continuar recebendo calor, sua temperatura continuará em 100°C . No entanto, passado um tempo, a quantidade de água na panela diminuirá, pois a água está mudando do estado líquido para o estado de vapor.



No béquer temos água em temperatura ambiente (27°C) e em estado líquido.



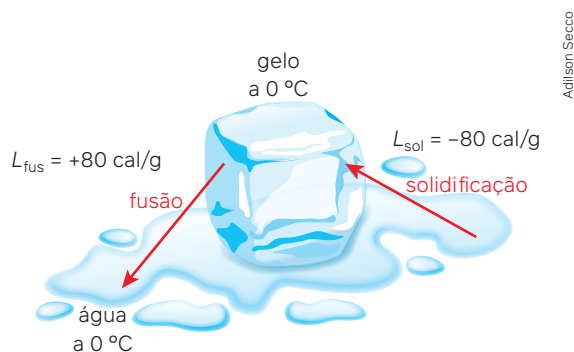
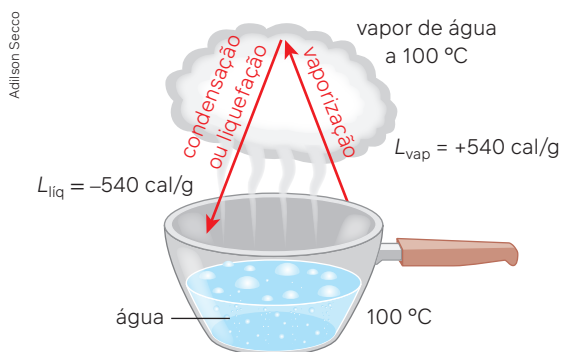
A curva mostra a evolução da temperatura inicialmente no estado líquido, até atingir sua temperatura de ebulição.

Chamamos de **calor sensível** a quantidade de energia térmica trocada por um corpo durante sua mudança de temperatura. Ao atingir sua temperatura de mudança de estado, o calor trocado que não promove variação de temperatura, mas promove mudança de estado físico é chamado de **calor latente** (L). Cada material necessita de uma quantidade de energia diferente para mudar de estado físico. Podemos analisar a energia necessária para vaporizar ou condensar cada grama de um material. Essa grandeza é chamada de **calor latente de vaporização**. Também podemos analisar o **calor latente de fusão**, que é a quantidade de energia necessária para cada grama de material derreter.

Vamos analisar o caso da água. Se a água já estiver a 100 °C, é necessário fornecer 540 cal para cada grama desse líquido vaporizar. Então, o calor específico latente de vaporização da água é $L_{\text{vap}} = +540 \text{ cal/g}$. Se tivermos vapor a 100 °C, é necessário retirar do vapor 540 cal para cada grama de vapor se liquefazer. Logo, o calor específico latente de liquefação do vapor é $L_{\text{liq}} = -540 \text{ cal/g}$. No caso da água a 0 °C, temos o calor específico latente de fusão $L_{\text{fus}} = +80 \text{ cal/g}$ e de solidificação $L_{\text{sol}} = -80 \text{ cal/g}$. Em todos esses casos, o calor latente trocado é dado por:

$$Q = mL$$

Em que m é a massa que muda de estado físico e L é o calor específico latente de transformação, ou mudança de estado.



Mudanças de estado da água e respectivos calores latentes de transformação.

Rios voadores

O ciclo da água que opera no continente americano, alimentado pelo Oceano Atlântico, e que é barrado pela Cordilheira dos Andes, dá origem a um fenômeno do qual depende todo o regime de chuvas no Brasil. Trata-se dos rios voadores, massas de água atmosféricas tangidas pelos ventos, formadas de vapor de água e nuvens, que são propelas pelos ventos. Essas correntes de ar invisíveis passam sobre nós, carregando umidade da Bacia Amazônica para o Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil.

As quantidades de energia envolvidas nesse processo são formidáveis. Sabemos que, por meio da evapotranspiração, uma árvore com copa de 10 metros de diâmetro bombeia diariamente para a atmosfera de 300 a 1 000 litros de água – para comparação, a demanda diária mínima de água por pessoa é de cerca de 110 litros de água para atender às necessidades de consumo e higiene. De acordo com a revista *Science*, uma prestigiosa publicação científica, estima-se em centenas de bilhões a quantidade de árvores na Floresta Amazônica. Imagine, então, quanta água existe na atmosfera!

▶ Ciências da Natureza

O estudo sobre clima e circulação atmosférica pode ser aprofundado no **Capítulo 18** do volume de Biologia.



Mapa clicável
Rios voadores e equilíbrio climático

Fonte: EXPEDIÇÃO RIOS VOADORES. *Os rios voadores, a Amazônia e o clima brasileiro*: Caderno do professor. Brasília, DF: Expedição Rios Voadores, [2015]. Disponível em: <https://riosvoadores.com.br/wp-content/uploads/sites/5/2015/04/Caderno-Professor-Rios-Voadores-2015-INTERNET.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2024.

Como nascem os rios voadores



Infografia/g1

Percurso dos rios voadores.

Saiba mais

Evaporação

É comum estendermos roupas no varal e esperarmos que elas fiquem secas com o tempo. Mas se a água entra em ebulição a 100 °C, há algum instante durante o dia em que a temperatura das roupas chega a 100 °C? Se a resposta é não, como as roupas secam no varal?

Ao pensarmos nesse problema, começamos a nos perguntar se a ebulição a 100 °C é a única forma da água vaporizar. De fato, há mais formas de a água passar de líquido para vapor, além da ebulição: a água pode evaporar. A evaporação é uma forma de vaporização na qual as moléculas de água escapam pela superfície em um processo mais lento e que ocorre até mesmo em temperatura ambiente.

Como as moléculas escapam pela superfície, a área de contato do líquido com o ambiente influencia na velocidade de evaporação. Roupas emboladas demoram a secar. Roupas esticadas secam rapidamente justamente por fornecer maior área de contato com o ambiente. É por isso, também, que a água em um balde não evapora facilmente, mas se a espalharmos pelo piso de uma varanda, por exemplo, ela evaporará em minutos.

Há, ainda, um terceiro processo de vaporização: o efeito Leidenfrost, homenagem ao médico alemão Johann Gottlob Leidenfrost (1715-1794). Também chamado de calefação, esse processo ocorre quando uma gota de água entra em contato com uma superfície muito mais quente que sua temperatura de ebulição, promovendo uma vaporização muito brusca da parte de baixo da gota e fazendo-a flutuar na superfície.



Mike Filippo/Shutterstock.com

Evaporação da água em roupas estendidas no varal.

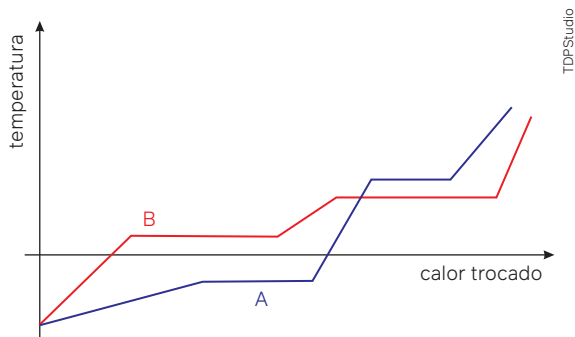


Dotto

Gota de água em calefação no interior de uma frigideira quente.



1. Dois corpos de mesma massa, inicialmente na mesma temperatura, recebem calor e têm suas curvas de aquecimento representadas no gráfico a seguir.



Analise as afirmações sobre o gráfico e, depois, assinale a opção que contém as afirmações corretas.

- I. O corpo **A** derrete a uma temperatura maior que o corpo **B**.

II. O corpo **B** ferve a uma temperatura menor que o corpo **A**.

III. O corpo **A** e o corpo **B** são feitos do mesmo material.

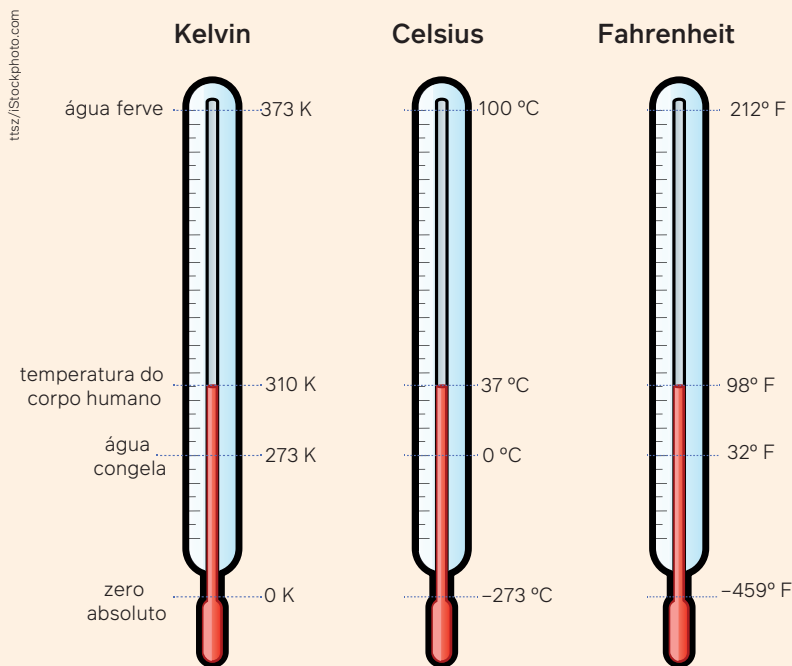
- a) I e III.
b) I e II.
c) II e III.
d) Somente II.
e) Nenhuma.

2. Para formar 100 g de gelo, uma pessoa colocou, na geladeira, 100 g de água a 20 °C. Qual será a quantidade de energia retirada da água pelo sistema de refrigeração, de modo que todo esse líquido se congele?

Dados: calor específico da água $c_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$; calor específico latente de solidificação do gelo $L_{\text{sol}} = -80 \text{ cal/g}$.

Recapitule

Neste capítulo, aprendemos sobre a relação entre energia média das partículas que compõem os corpos e sua temperatura. Vimos, também, que as escalas termométricas são construções arbitrárias para criar valores de referência a temperaturas conhecidas. Pudemos construir e analisar termômetros.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Comparação entre as três escalas termométricas mais utilizadas. Valores aproximados.

Neste capítulo, vimos que grandezas como calor, temperatura e sensação térmica são conceitos diferentes. Para reforçar seu aprendizado, construa um glossário em seu caderno, descrevendo o significado dos seguintes conceitos: (a) calor; (b) temperatura; (c) lei zero da termodinâmica; (d) dilatação e contração térmica; (e) capacidade térmica; (f) calor específico; (g) potência térmica; (h) evaporação; e (i) vaporização. Escolha mais três conceitos que você julga serem relevantes e amplie seu glossário.

Máquinas térmicas e os princípios termodinâmicos

lennystan/Shutterstock.com



Antigo guindaste a vapor utilizado em ferrovias, exposto no *Summerlee Museum of Scottish Industrial Life*, um museu de história industrial e social em Coatbridge, Escócia, 2022.

▼ Para refletir

1. Como fazer o fogo empurrar um grande bloco de concreto? Em outras palavras, como fazer o calor do fogo realizar trabalho mecânico?
2. Por que é impossível construir um moto-perpétuo?

Objetivos do capítulo

- Analisar o comportamento dos gases ideais.
- Compreender as relações entre trocas de calor e trabalho mecânico.
- Avaliar impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento industrial.
- Reconhecer o desenvolvimento histórico da Termodinâmica.
- Aplicar leis da Termodinâmica para resolução de situações-problema.

Origens históricas da Termodinâmica

A expansão térmica do vapor foi a primeira forma industrialmente viável de se aproveitar o calor da queima de combustíveis para a realização de trabalho mecânico. Hoje em dia, veículos com motor a combustão – aviões, tratores, navios e trens – queimam combustível para o deslocamento de corpos e cargas. Na maioria das cidades brasileiras, é difícil passarmos pelas ruas sem avistarmos algum posto de combustíveis. A queima de combustíveis é a grande responsável pelos transportes urbanos, interestaduais e intermunicipais. Por outro lado, esse processo de queima emite gases que ficam na atmosfera da Terra, e isso pode trazer consequências nocivas aos ecossistemas e ao clima.

Neste capítulo, vamos estudar a Termodinâmica e seus impactos na humanidade.



Ciência por fora

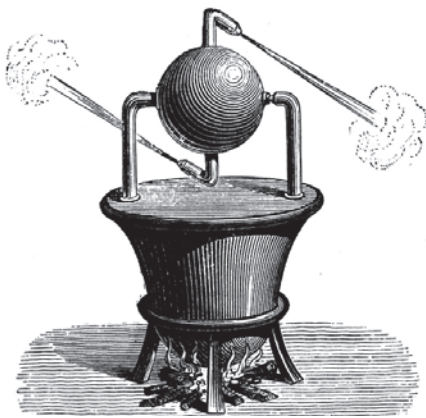
Uma máquina desencadeia uma revolução

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Máquina a vapor

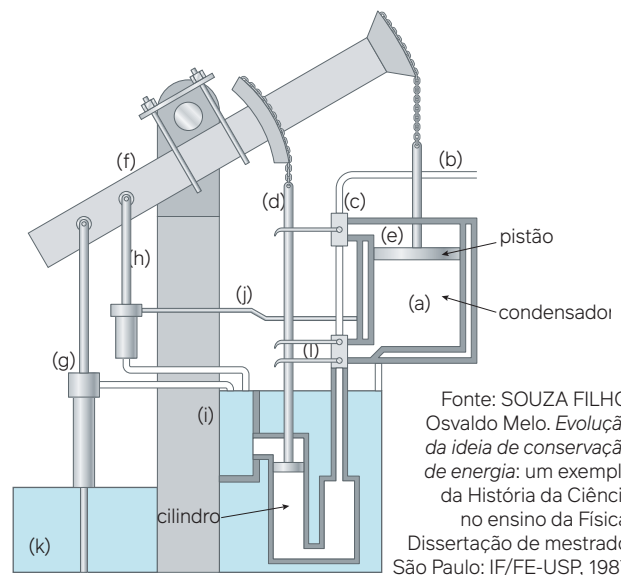
Poucas invenções foram tão importantes para a história da humanidade como a máquina a vapor. Primeiro dispositivo capaz de transformar o calor em energia mecânica com eficiência suficiente para substituir a tração animal, pode ser considerada uma das grandes responsáveis pela Revolução Industrial no século XIX.

O primeiro aparelho a sugerir a possibilidade da máquina a vapor está descrito na *Pneumática* (Sobre o ar), do filósofo Heron de Alexandria (c. 130 a.C.). Sua eolípila, embora rudimentar, aplicava os mesmos princípios da máquina a vapor atual. Apesar dessas referências remotas, a construção de uma máquina capaz de funcionar por si mesma durante um período de tempo considerável só ocorreu no século XVII. Em 1698, na Inglaterra, o capitão Thomas Savery (1650-1715) apresentou um dos primeiros modelos bem-sucedidos de máquina a vapor para extrair água das minas. Em 1705, deu-se um passo adiante com a máquina de Thomas Newcomen (1664-1729) – primeira a utilizar cilindro e êmbolo –, aperfeiçoada por Henry Beighton (1687-1743) e John Smeaton (1724-1792).



Biblioteca Nacional da França, Paris

A eolípila consiste em um recipiente esférico ou cilíndrico que leva água em seu interior. Quando aquecido, o vapor expelido sai por duas tubulações diametralmente opostas, que criam um momento no recipiente que o faz girar.



Adilson Secco

Fonte: SOUZA FILHO, Osvaldo Melo. *Evolução da ideia de conservação de energia: um exemplo da História da Ciência no ensino da Física*. Dissertação de mestrado. São Paulo: IF/FE-USP, 1987.

Nesse dispositivo, o vapor entra no tubo (b) e empurra o êmbolo do pistão (e) para baixo. A barra (f) faz subir as hastes (g) e (h) da bomba. As águas dos reservatórios (i) e (k) movem a válvula (l) para permitir que mais gás entre no pistão, retomando o ciclo.

Em 1763, James Watt (1736-1819), ao consertar um modelo da máquina de Newcomen, na Universidade de Glasgow, acabou por inventar seu próprio tipo, patenteado em 1769 e 1781, correspondente à máquina a vapor moderna. Em 1782, Watt patenteou o novo modelo, uma máquina rotativa de ação dupla, que pela primeira vez permitiu o aproveitamento do vapor para impulsionar toda espécie de mecanismo. Criou-se assim o sistema das fábricas e acelerou-se a Revolução Industrial.

[...]

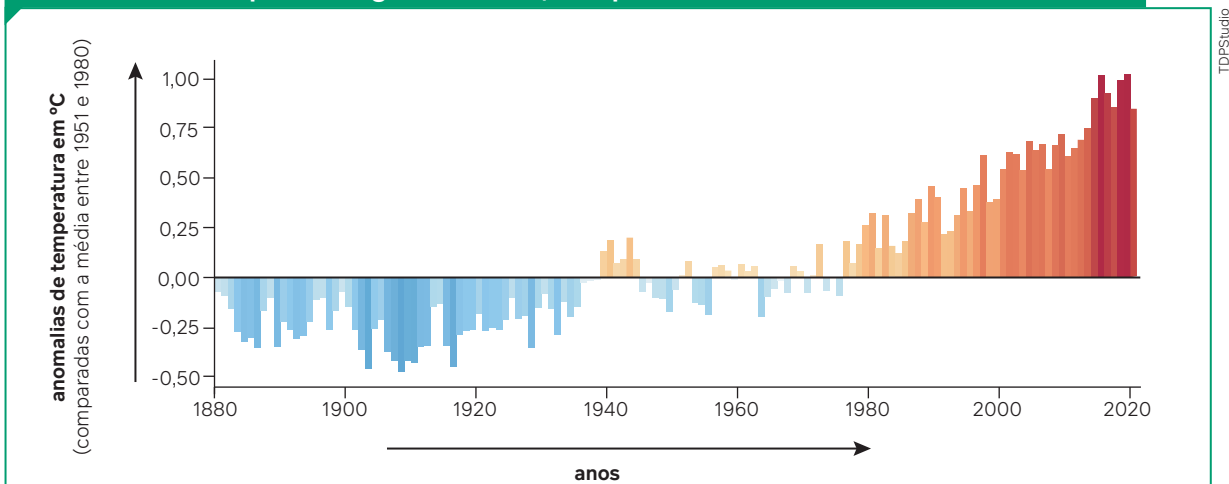
SOUZA FILHO, O. M. *Evolução da ideia de conservação de energia: um exemplo da história da Ciência no ensino da Física*. 1987. Dissertação (Mestrado em Física) – Faculdade de Educação, da Universidade de São Paulo (FE-USP), São Paulo, 1987. Disponível em: <http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo4A/maquinavapor.htm>. Acesso em: 13 jul. 2024.

O mundo viveu, desde o século XVIII, diferentes saltos nas formas de produção de bens de consumo. Esses saltos são chamados de revoluções industriais. A primeira, em meados de 1800, foi marcada pela utilização das máquinas a vapor na mecanização das indústrias, como a produção têxtil. A segunda, em meados de 1900, já com predomínio da energia elétrica na mecanização, foi marcada pela explosão na produção de bens de consumo antes não imaginados, como os veículos automotores, os televisores e outras tecnologias que passaram a fazer parte da vida cotidiana. A chamada Terceira Revolução Industrial se apresenta na segunda metade do século 20 e é marcada por uma profunda integração entre ciência, sociedade e tecnologia, bem como por mercados globais, indo além de mudanças apenas na indústria, mas em toda a organização mundial. Advoga-se que uma quarta revolução industrial estaria em curso, marcada pela Internet das Coisas e pela introdução da Inteligência Artificial nos processos produtivos. Em todos esses casos, os avanços tecnológicos vêm com um custo: uma inevitável pegada ambiental que tem afetado os ecossistemas e a atmosfera do planeta.

Trocando ideias

1. Por que as máquinas a vapor, tal como foram concebidas, não são mais utilizadas hoje em dia?
2. Uma máquina a vapor transforma calor em trabalho mecânico. Mas nem todo calor gerado pela queima de combustíveis é aproveitado na forma de trabalho. O que acontece com esse calor em excesso?
3. Observe o gráfico a seguir.

Anomalias da temperatura global (em °C, comparadas com a média entre 1951 e 1980)



Em dupla, discuta com seu colega sobre as relações entre essas variações de temperatura e as revoluções industriais. 

4. Ao mesmo tempo que a ciência oferece soluções para as necessidades humanas, as inovações tecnológicas trazem consequências e possíveis danos à vida e ao planeta. Como equilibrar esses dois fatos?



Usina termelétrica de Candiota (RS), 2021. Única usina a carvão da Eletrobrás. Esta usina foi vendida para a iniciativa privada como parte do esforço da empresa de reduzir as emissões de carbono e realizar a transição energética.

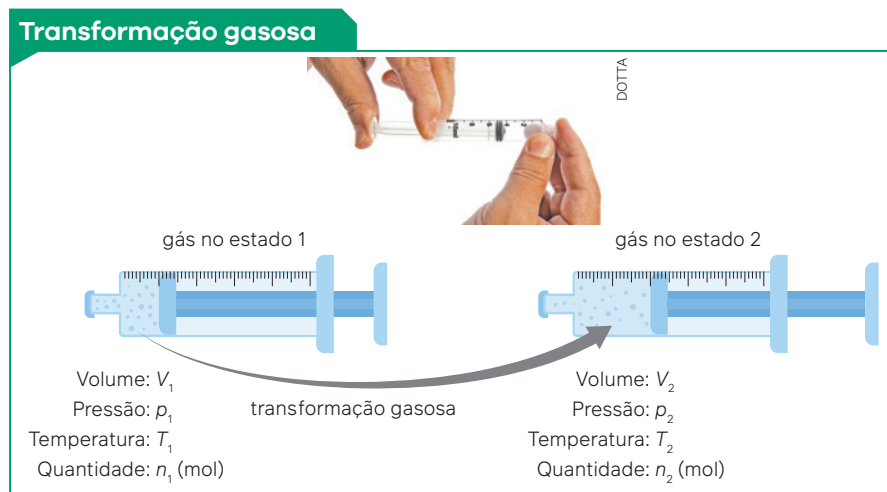


Podcast
Emergência climática: o que diz a ciência?

Transformações gasosas

Quando retomamos a noção de temperatura, lembramos que a energia de movimento das partículas que compõem um corpo é diretamente ligada à temperatura desse corpo. Mas o que dizer de gases?

Gases não são corpos com forma e volume definidos. A forma e o volume de um gás dependem do recipiente onde esse gás está confinado. Gases são conjuntos de partículas que só podem ser observados ou estudados em situações controladas. Para entendermos os comportamentos dos gases, confinamos uma quantidade em um recipiente (por exemplo, uma seringa sem agulha, tapada dos dois lados, mas com o êmbolo móvel). Puxando rapidamente o êmbolo da seringa, o ar dentro dela aumenta de volume, e isso impacta diretamente em sua pressão e temperatura, que diminuem. Empurrando rapidamente o êmbolo, o volume diminui, aumentando, conseqüentemente, a pressão e a temperatura.



Efeitos da variação do volume na seringa.

Ciências da Natureza

O estudo sobre gases pode ser aprofundado no **capítulo 11** do **volume de Química**.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Fonte: MILLER JR., G. T. *Living in the environment principles, connections and solutions*. Pacific Grove: Brooks/Cole, 2000.

A equação de estado dos gases ideais

Assim como na seringa, gases contidos em outros recipientes podem variar seu estado. O estado de um gás é definido pelos valores de volume (V), temperatura (T), pressão (p) e até mesmo pela quantidade de partículas (n), medida em mol. Um mol equivale a $6,02 \cdot 10^{23}$ unidades. Em certas circunstâncias, os gases contidos em recipientes têm seu comportamento previsível, sendo chamados, nessas situações, de **gases perfeitos** ou **ideais**:

Equação de estado dos gases perfeitos:

$$pV = nRT$$

$$R = 8,31 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$$

$$R = 0,082 \left[\frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$$

A constante R é chamada de constante universal dos gases perfeitos. Para valores de pressão e volume no Sistema Internacional de unidades, seu valor é aproximadamente $8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$.

É importante ressaltar que, observando a unidade kelvin na constante universal dos gases, vemos que a equação acima não pode ser utilizada com temperaturas medidas em $^{\circ}\text{C}$, somente com temperaturas medidas em K. Isso ocorre porque, em tese, um gás perfeito teria volume zero à temperatura zero absoluto, que é 0 K.

Atividades comentadas

1. Um recipiente de volume 30 L é preenchido com 2 mol de gás O_2 à temperatura de 250 K. Qual é a pressão do gás dentro desse recipiente?

Resolução

Neste problema, as unidades sugerem que usemos $R = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$. Aplicando a equação dos gases perfeitos:

$$pV = nRT \Rightarrow p \cdot 30 = 2 \cdot 0,082 \cdot 250 \Rightarrow p = \frac{2 \cdot 0,082 \cdot 250}{30} \approx 1,37 \text{ atm}$$

2. Responda às questões abaixo.

- Explique o que acontece quando um motorista vai calibrar os pneus de um automóvel e instrui o frentista: “Coloque 30 libras nos 4 pneus, por favor”?
- Ao calibrar um pneu de bicicleta em um posto de combustíveis, o ciclista percebeu que seu pneu tinha pressão indicada de 25 psi – psi é a sigla em língua inglesa para *pounds per square inch*, que significa libra-força por polegada quadrada; neste caso, 25 psi é equivalente a 1,7 atm. Durante a calibragem, a pressão do ar dentro do pneu se elevou para 40 psi (equivalente a 2,7 atm). Considerando o ar como um gás ideal e desprezando as variações de volume e de temperatura do ar dentro do pneu, podemos dizer que a relação entre a massa de ar final no pneu e a massa de ar inicial do pneu é:

a) 1,16

c) 1,47

e) 1,83

b) 1,34

d) 1,59

Resolução

- a) O frentista está inserindo (ou removendo) quantidades de ar em um recipiente que possui volume e temperatura praticamente constantes (o pneu), de modo que a quantidade total dessas partículas é suficiente para exercer uma pressão de 30 libras-força em cada polegada quadrada das paredes internas desse recipiente.
- b) A equação de estado dos gases relaciona as variáveis de estado e inclui a quantidade de gás envolvida. Então, teremos:

$$\begin{aligned} pV &= nRT && \text{constante} \\ \frac{pV}{nT} &= R && \text{constante} \\ \frac{p_a V_a}{n_a T_a} &= \frac{p_b V_b}{n_b T_b} \\ \frac{p_a}{n_a} &= \frac{p_b}{n_b} \\ \frac{1,7}{n_a} &= \frac{2,7}{n_b} \\ \frac{n_b}{n_a} &= \frac{2,7}{1,7} \approx 1,59 \end{aligned}$$

Logo, a resposta é a alternativa **d**.

Equação geral das transformações gasosas

Note que a equação:

$$\frac{p_a V_a}{n_a T_a} = \frac{p_b V_b}{n_b T_b}$$

pode ser utilizada em qualquer circunstância que envolva transformações gasosas. No caso específico deste exemplo, a mudança no número de mol do gás (do ar, em questão) é causadora de uma mudança de pressão. Há muitos casos de transformações gasosas nos quais a quantidade de partículas do gás é mantida constante e, com isso, apenas as variáveis de estado (pressão, volume e temperatura) se modificam. Caso a quantidade de partículas se mantenha constante, teremos uma nova relação algébrica.

Partindo de:

$$\frac{p_a V_a}{n_a T_a} = \frac{p_b V_b}{n_b T_b}$$

nas situações em que:

$$n_a = n_b$$

teremos:

$$\frac{p_a V_a}{\cancel{n_a T_a}} = \frac{p_b V_b}{\cancel{n_b T_b}}$$

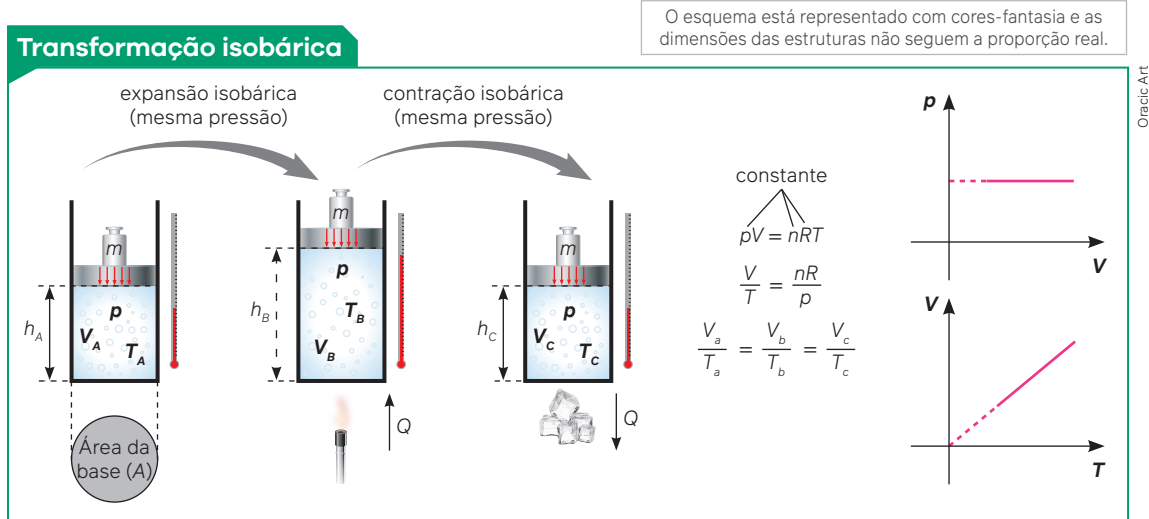
Equação geral das transformações gasosas:

$$\frac{p_a V_a}{T_a} = \frac{p_b V_b}{T_b}$$

Transformações notáveis

O que acontece se um gás muda seu estado mantendo a temperatura constante? E se um gás se expande, mantendo a pressão constante? E se aquecemos um gás sem mudar seu volume? Esses e outros casos peculiares indicam comportamentos notáveis dos gases que podem ser utilizados para construção de aparatos tecnológicos.

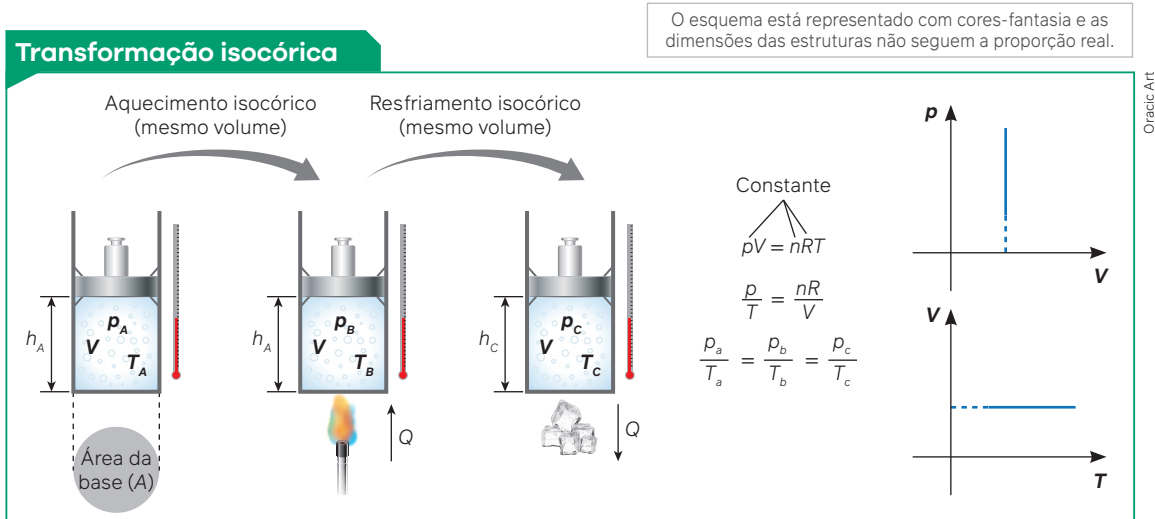
A transformação gasosa na qual a pressão em um gás se mantém constante é chamada de transformação **isobárica**. Um caso de transformação isobárica pode ser visto em um recipiente com um êmbolo que pode se mover livremente e que possui um peso em sua parte de cima, conforme esquema a seguir.



Transformações isobáricas com uma expansão e uma contração e análise das variáveis de estado e suas principais representações gráficas.

Em uma transformação isobárica, cedemos calor a um gás, o que faz com que seu volume se expanda. Se o calor é liberado para o ambiente, seu volume se contrai. A pressão se mantém constante, e o volume e a temperatura absoluta variam proporcionalmente.

Quando um gás muda suas variáveis de estado, mantendo seu volume constante, ocorre uma transformação chamada de **isocórica** (ou **isovolumétrica** ou **isométrica**).



Transformações isocóricas com um aquecimento e um resfriamento e padrão matemático das transformações com suas representações gráficas.

Note que, na imagem, o êmbolo do recipiente está travado. A temperatura do gás (bem como sua pressão) pode subir quando o calor é fornecido e pode diminuir quando o gás libera calor para seu entorno, mas as medidas do recipiente se mantêm. Por isso, a mudança de temperatura ocorre com o calor fornecido ao recipiente; mas como o volume não aumenta, a energia recebida pelas moléculas do gás promoverá uma intensificação das colisões das moléculas com as paredes do recipiente, aumentando a pressão.

Caso as paredes do recipiente onde o gás está contido permitam rápida troca de calor e se a transformação gasosa for feita muito lentamente, haverá tempo para que o calor recebido pelo gás seja trocado com seu entorno, mantendo a temperatura do gás constante. Esse tipo de transformação é chamada de **isotérmica**, e o gráfico $p \times V$ dessa transformação tem o nome de **isoterma**.

Transformação isotérmica

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

expansão isotérmica
(mesma temperatura)

contração isotérmica
(mesma temperatura)

constante

$$pV = nRT$$

$$p_a V_a = p_b V_b = p_c V_c$$

Transformações isotérmicas, com uma expansão e uma contração à temperatura constante e representações algébricas e gráficas das variáveis de interesse.

Na transformação isotérmica, como não há mudança de temperatura, o aumento de volume ocorre às custas da redução de pressão e vice-versa.

Há, ainda, a possibilidade de um gás sofrer uma transformação sem que haja trocas de calor. Isso ocorre quando o recipiente possui paredes isolantes térmicas e a transformação gasosa ocorre muito rapidamente. Esse tipo de transformação é chamada de **adiabática**. Mudanças de pressão, volume e temperatura são identificadas em transformações adiabáticas.

Transformação adiabática

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

expansão adiabática
(sem troca de calor)

contração adiabática
(sem troca de calor)

constante

$$pV = nRT$$

$$\frac{p_a V_a}{T_a} = \frac{p_b V_b}{T_b} = \frac{p_c V_c}{T_c}$$

$$p_a V_a^\gamma = p_b V_b^\gamma = p_c V_c^\gamma$$

γ : expoente de Poisson
para gases monoatômicos, $\gamma = \frac{5}{3}$

Transformações adiabáticas e representações algébrica e gráfica.

A análise algébrica das variáveis de estado (pressão, volume e temperatura) na transformação adiabática ganha novos contornos. Dependendo da composição atômico-molecular do gás, seu comportamento pode variar em uma transformação adiabática. Mas, em todos os casos, há uma proporção entre pressão e volume, ligadas ao expoente γ de Poisson – homenagem a Siméon Denis Poisson (1781-1840). Esse expoente γ depende dos comportamentos térmicos do gás em situações isobáricas e isocóricas.

Contribuições ao estudo dos gases

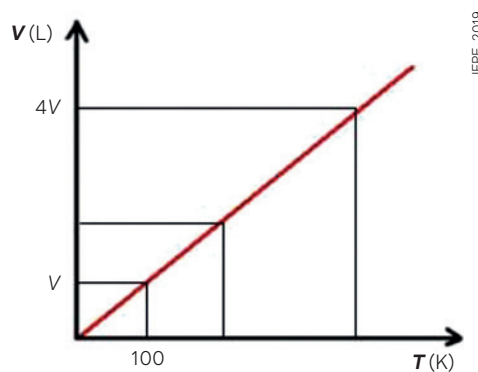
Cronologicamente, as descobertas das relações das variáveis dos gases, apresentadas anteriormente, são resultados obtidos em tempos diferentes e por diferentes pesquisadores. O estudo da transformação isotérmica é creditado a Robert Boyle (1627-1691) que, ao final do século XVII, comparou gases a pressões maiores que a atmosfera (pressões positivas) e menores que a atmosfera (que costumamos chamar de vácuo). Já as relações das variáveis de estado nas transformações isobáricas são creditadas a Jacques Charles (1746-1823), no final do século XVIII. Charles tinha grande interesse pelo balonismo e foi o primeiro a atingir a altitude de 3000 m em um balão de hidrogênio, conseguindo, por esse interesse, conduzir estudos sobre gases à pressão constante. Mais tarde, no início do século XIX, com base nos trabalhos do Charles, Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850) mostrou as relações das variáveis de estado em situações de volume constante. Ainda no século XIX, mas anos depois, Amedeo Avogadro (1756-1856) demonstrou a importância do número de partículas (n) nas mudanças das variáveis de estado, algo posteriormente, confirmado pelos estudos de Benoît Paul-Émile Clapeyron (1799-1864).

Essa breve reconstrução histórica nos mostra como a ciência se desenvolve em diferentes contextos a partir de muitas mãos e mentes e por diferentes interesses.

Atividades propostas

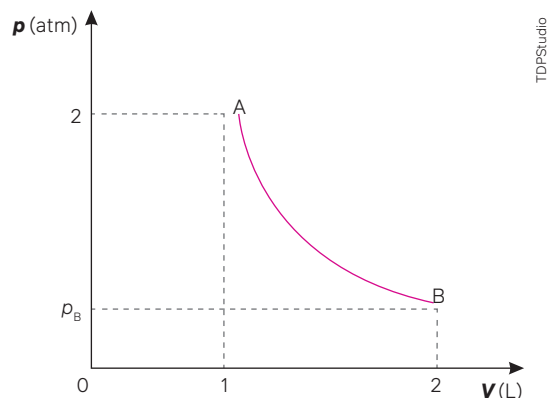


1. (IFPE – 2019) Em uma transformação isobárica, certo gás ideal obedece ao gráfico a seguir.

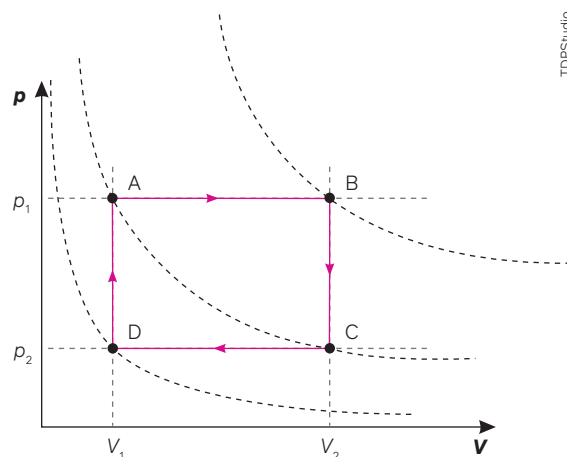


A temperatura, quando o gás quadruplicar seu volume inicial, será

- a) 200 K.
 - b) 800 K.
 - c) 400 K.
 - d) 500 K.
 - e) 1000 K.
2. A figura representa dois mol de moléculas de um gás ideal que sofre uma transformação isotérmica reversível $A \rightarrow B$. Nessas condições, quanto vale a pressão p_B , em atm?



3. (Enem – 2015) Uma pessoa abre sua geladeira, verifica o que há dentro e depois fecha a porta dessa geladeira. Em seguida, ela tenta abrir a geladeira novamente, mas só consegue fazer isso depois de exercer uma força mais intensa do que a habitual. A dificuldade extra para reabrir a geladeira ocorre porque o(a)
- volume de ar dentro da geladeira diminuiu.
 - motor da geladeira está funcionando com potência máxima.
 - força exercida pelo ímã fixado na porta da geladeira aumenta.
 - pressão no interior da geladeira está abaixo da pressão externa.
 - temperatura no interior da geladeira é inferior ao valor existente antes de ela ser aberta.
4. Quando analisamos transformações gasosas, é possível verificar um gás partindo de um estado e retornando ao mesmo estado. Chamamos esse processo de “transformação cíclica”. Observe o gráfico que representa quatro transformações gasosas em um ciclo A-B-C-D-A. As curvas isotermas são apresentadas de maneira pontilhada no gráfico.



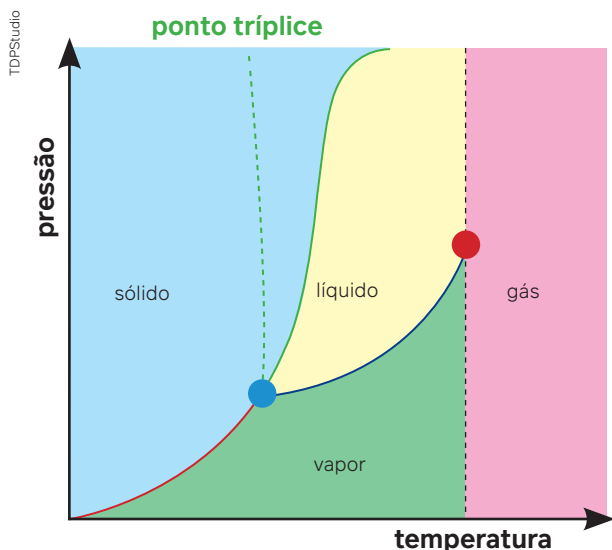
É correto afirmar que:

- nos pontos D e A, a temperatura do gás é a mesma.
 - nos pontos A e B, o volume do gás é o mesmo.
 - no ponto B, o gás tem maior volume que no ponto C.
 - nos pontos A e C, a temperatura do gás é a mesma.
 - nos pontos D e C, o volume do gás é o mesmo.
5. Sobre as transformações gasosas, é correto afirmar que:
- em uma transformação isobárica tem-se um aumento de volume mantendo-se a temperatura sempre constante.
 - em uma transformação isocórica, o gás não se aquece nem se resfria.
 - em uma transformação isotérmica, a relação entre o volume e a temperatura se mantém constante.
 - se um gás muda de volume sem trocar calor com o meio, tem-se uma transformação isobárica.
 - gases que sofrem transformações à temperatura constante mantêm a relação entre pressão e volume também constante.

Mudanças de fase por mudanças de pressão: os diagramas de fase

Você sabia que é possível transformar vapor de água em água líquida apenas aumentando a pressão? E que no alto do Pico da Bandeira – 2 890 m de altitude, na divisa entre o Espírito Santo e Minas Gerais – a água ferve a menos de 100 °C? E, ainda, por que um patinador no gelo desliza com tanta facilidade? Esses fenômenos ocorrem porque as temperaturas de mudança de fase dos materiais dependem da pressão à qual o material está submetido. Em uma montanha, a baixa pressão atmosférica faz com que a água ferva mesmo estando mais fria (o que dificulta o cozimento de alimentos). No alto do Monte Everest, por exemplo, a altitude de mais de 8 000 m faz com que a pressão da atmosfera seja muito baixa e, ali, a água ferve a aproximadamente 70 °C. Em uma pista de patinação, as lâminas dos patins aumentam muito a pressão sobre o gelo, transformando-o em líquido, mesmo a uma temperatura bem abaixo de 0 °C. Isso indica que a mudança de estado pode ocorrer a diferentes temperaturas quando mudamos a pressão sobre uma substância.

O gráfico a seguir indica as curvas de fusão (entre sólido e líquido), de sublimação (entre vapor e sólido) e de vaporização (entre vapor e líquido). Para cada valor de pressão, a temperatura de mudança de estado da substância se altera.



No diagrama, as linhas verde, vermelha e azul representam as curvas de fusão, sublimação e vaporização da água, respectivamente.

O diagrama também indica a temperatura acima da qual a substância se torna um gás. Gás é uma substância em estado gasoso, mas que não pode ser liquefeita por uma compressão isotérmica. Ou seja, somente resfriando a substância até seu ponto de vapor é possível liquefazê-la por compressões isotérmicas. Há também no diagrama um valor para pressão e temperatura no qual as três fases (sólido, líquido e vapor) coexistem. Esse ponto é chamado de **ponto tríplice**. No alto de uma montanha, a água ferve a menos de 100 °C porque a pressão atmosférica é mais baixa que ao nível do mar. Observe no diagrama que, com a redução da pressão, há também redução na temperatura de ebulição. Da mesma forma, em uma panela de pressão, a pressão se eleva, fazendo com que a água alcance temperaturas maiores que 100 °C, cozinhando mais rapidamente os alimentos.

Ciência por dentro

O balão que empurra

Neste experimento, será utilizado um balão para estudar o trabalho mecânico realizado por uma expansão gasosa. O objetivo é fazer o ar dentro de um balão se expandir termicamente e, com isso, erguer um corpo o mais alto possível.

Material:

- garrafa PET;
- balão de aniversário;
- régua;
- caixinha de creme de leite ou equivalente (desde que a massa seja conhecida);
- barbante;
- água gelada;
- água morna;
- duas bacias pequenas ou potes genéricos.

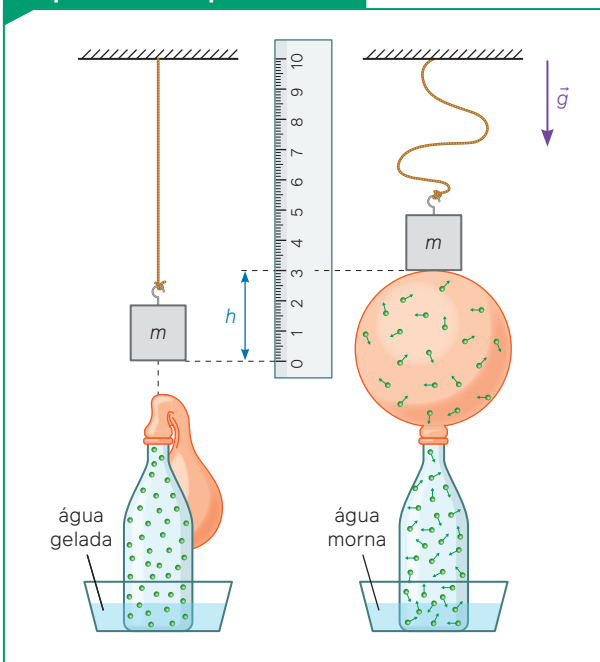
Procedimento

Coloque o balão na boca da garrafa. Amarre com um barbante a caixinha com massa conhecida logo acima da garrafa, que, por sua vez, estará posicionada dentro de uma bacia com água gelada (água com alguns cubos de gelo ou água de bebedouro). Prepare a bacia com água morna e deixe-a sobre a mesa, próximo à bacia de água gelada. Posicione a régua na vertical, de modo que seu zero se alinhe com o fundo da caixinha (veja a figura).

Esquema experimental de garrafa com balão em duas situações: em água gelada e em água morna.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Esquema do experimento



Adilson Secco

Substitua a bacia com água gelada pela bacia com água morna. Espere o balão inflar com o aumento de temperatura e meça, na régua, a elevação que o balão promoveu na caixinha.

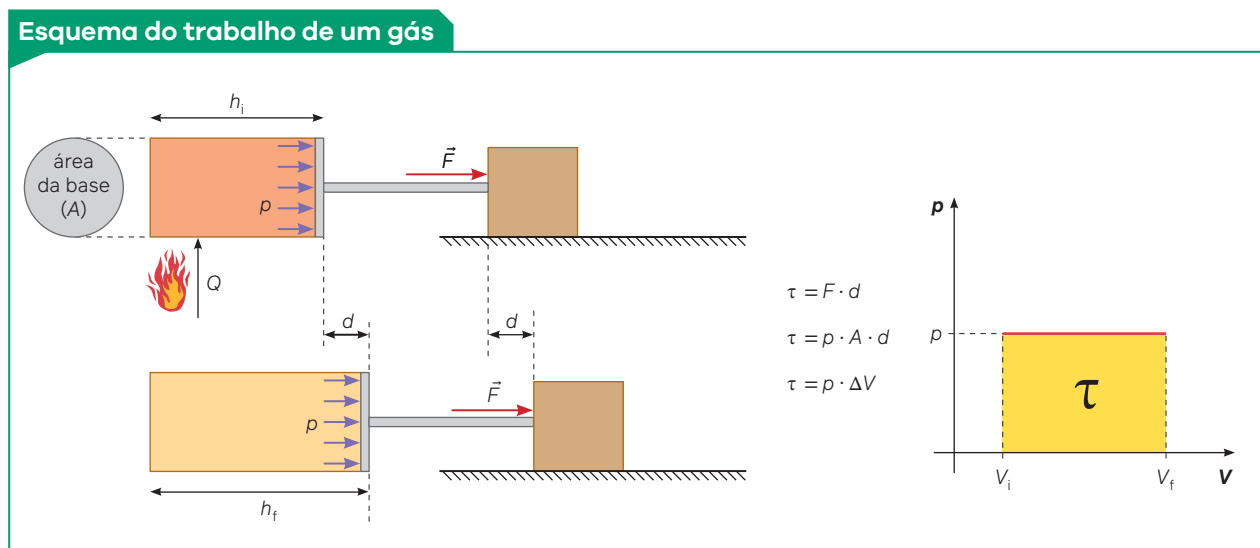
Trocando ideias

Agora, conhecendo a massa da caixinha e a aceleração da gravidade local, faça o que se pede.

1. Determine o trabalho mecânico realizado sobre a caixinha.
2. Por que esse trabalho não ocorreu com a garrafa na água gelada?
3. Qual é o papel do gás dentro da garrafa e do balão? E qual é o papel do calor nesse processo?

Trabalho de um gás

Vimos no experimento anterior que as expansões gasosas podem promover trabalhos mecânicos. Podemos utilizar uma situação conhecida, da transformação isobárica, para calcular o trabalho realizado pelo gás.



Quando é fornecido calor a um gás, sua expansão pode promover o deslocamento de um corpo. No entanto, como o deslocamento do corpo corresponde ao deslocamento do êmbolo no recipiente do gás, o cálculo do trabalho realizado ($F \cdot d$) pode também ser dado pelo produto da pressão pela variação do volume ($p \cdot \Delta V$).

Graficamente, isso corresponde à área sob a curva do gráfico $p \times V$. Quando o gás se expande, seu trabalho é positivo e indica uma transferência de energia mecânica do gás para o meio. Quando o gás se contrai, seu trabalho é negativo e isso indica uma transferência de energia mecânica do meio para o gás. Esse uso de sinais é uma convenção utilizada para indicar quantidades de energia trocadas entre o sistema e seu entorno, úteis para avaliar a conservação da energia.

Em outras transformações gasosas, como isotérmica e adiabática, o trabalho também é dado pela área sob o gráfico, mas o cálculo dessa área demanda conhecimento de ferramentas matemáticas avançadas.

Trabalho em uma transformação isobárica, com seu cálculo e sua representação gráfica.

#FicaADica

PhET. Propriedades dos gases. Portal criado pela University of Colorado que permite simulações interativas para Ciência, Química, Física e Matemática. Por meio do *site*, é possível explorar como as variáveis de estado dos gases se relacionam nas transformações, utilizando uma simulação computacional feita na internet. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/gas-properties. Acesso em: 3 jun. 2024.

Análise dimensional

Como podemos verificar se a expressão para o trabalho de um gás ($p \cdot \Delta V$) é equivalente à expressão do trabalho de uma força ($F \cdot d$)? A solução para isso está na comparação das dimensões fundamentais utilizadas. Chamamos esse processo de **análise dimensional**. Como dimensões fundamentais, temos a massa $[M]$, o comprimento $[L]$, o tempo $[T]$ etc. A análise das dimensões envolvidas em um processo físico nos permite detectar similaridades em equações que nos parecem diferentes. Vejamos alguns exemplos:

Equação da velocidade

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$[v] = \frac{\text{dimensão de comprimento}}{\text{dimensão de tempo}}$$

Análise dimensional da velocidade

$$[v] = L T^{-1}$$

Equação da aceleração

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$[a] = \frac{\text{dimensão de velocidade}}{\text{dimensão de tempo}}$$

Análise dimensional da aceleração

$$[a] = L T^{-2}$$

Segunda lei de Newton

$$F = m \cdot a$$

$$[F] = \frac{\text{dimensão de massa}}{\text{dimensão da força}} \cdot \frac{\text{dimensão de aceleração}}{\text{dimensão de aceleração}}$$

Análise dimensional da força

$$[F] = M L T^{-2}$$

Energia Cinética

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$[E_c] = \frac{\text{dimensão de energia cinética}}{\text{adimensional}} = \frac{\text{dimensão de massa}}{\text{adimensional}} (\text{dimensão de velocidade})^2$$

Análise dimensional da energia cinética

$$[E_c] = M L^2 T^{-2}$$

Energia potencial gravitacional

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h$$

$$[E_{pg}] = \frac{\text{dimensão de massa}}{\text{dimensão energia potencial gravitacional}} \cdot \frac{\text{dimensão de altura}}{\text{dimensão de aceleração}}$$

Análise dimensional da energia potencial gravitacional

$$[E_{pg}] = M L^2 T^{-2}$$

Trabalho de uma força

$$\tau = F \cdot d$$

$$[\tau] = \frac{\text{dimensão de trabalho de uma força}}{\text{dimensão de trabalho de uma força}} \cdot \frac{\text{dimensão de deslocamento}}{\text{dimensão de deslocamento}}$$

Análise dimensional do trabalho mecânico de uma força

$$[\tau] = M L^2 T^{-2}$$

Trabalho de um gás

$$\tau = p \cdot \Delta V$$

$$[\tau] = \frac{\text{dimensão de trabalho de um gás}}{\text{dimensão de trabalho de um gás}} = \frac{\text{dimensão de força}}{L^2} \cdot \frac{\text{dimensão de volume}}{\text{dimensão de área}}$$

Análise dimensional do trabalho de um gás

$$[\tau] = M L^2 T^{-2}$$

O que podemos perceber em relação à análise dimensional de energias potencial e cinética, do trabalho de uma força e do trabalho de um gás? Todas têm a mesma dimensão física, que é uma dimensão de energia.

A análise dimensional nos mostra que o trabalho é, de fato, uma quantidade de energia que pode ser fornecida ou retirada de um sistema.

Primeira lei da Termodinâmica

Podemos pensar no princípio de conservação da energia para lidarmos com trabalhos de transformações gasosas. Um balanço energético se estabelece no caso de trabalhos que utilizam calor como fonte primária de energia. Vamos retomar uma das perguntas da seção **Ciência por fora**: Se uma quantidade de calor Q é dada a um gás, mas nem toda essa quantidade se transforma em trabalho τ , para onde vai a energia excedente?

Essa sobra energética fica armazenada no próprio gás, aumentando a energia interna do sistema, aquecendo, portanto, o gás.

$$Q = \tau + \Delta U$$

Isso indica uma relação entre o comportamento microscópico e macroscópico. A temperatura (medida macroscópica) é diretamente proporcional à energia cinética média de translação das partículas de um gás ideal (estas últimas, microscópicas). Essa é outra razão pela qual se convencionam sinais positivos e negativos para o trabalho: se houve energia cedida ou recebida pelo gás, se houve calor cedido pelo gás ou fornecido ao gás e, ainda, se a energia interna do gás aumentou (ΔU positivo) ou diminuiu (ΔU negativo).

Para gases ideais monoatômicos, a variação da energia interna é proporcional à temperatura absoluta desse gás. Nesses casos, a energia interna é dada por $U = \frac{3}{2} nRT$, e a variação da energia interna do gás é dada por $\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$.

As quantidades envolvidas na Primeira lei da Termodinâmica ($Q = \tau + \Delta U$) se relacionam à mudança de estado de um gás. Indicam uma diferença entre o antes e o depois nos casos de troca de calor e/ou de realização de trabalho. Eles representam, essencialmente, a conservação da energia.

Aperte uma seringa contendo ar, bloqueando a saída na ponta. Você perceberá um aumento de temperatura do ar contido, ou seja, é um caso em que não há troca de calor ($Q = 0$, o que nos leva a $\tau = -\Delta U$), tendo trabalho sendo realizado sobre o gás (τ negativo), resultando no seu aquecimento (ΔU positivo).

Atividades comentadas



- Um gás recebe 30 J de energia térmica e se expande realizando 24 J de trabalho mecânico contra a vizinhança. Ao final do processo, qual será o aumento da energia interna do gás?

Resolução

Nesta questão, uma aplicação direta da primeira lei da termodinâmica é requerida.

$$Q = \tau + \Delta U \Rightarrow +30 = +24 + \Delta U \therefore \Delta U = 6 \text{ J}$$

- Em um processo adiabático, um gás é comprimido por um agente externo. Esse agente realiza sobre o gás um trabalho de 1000 J.

- Qual é a quantidade de calor trocada neste processo?

Resolução

Como o processo é adiabático, não há trocas de calor. Por isso, $Q = 0$.

- Qual é a variação da energia interna do gás?

Resolução

De acordo com a primeira lei da termodinâmica:

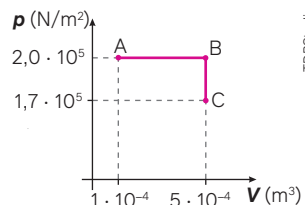
$$Q = \tau + \Delta U \Rightarrow 0 = \tau + \Delta U \therefore \tau = -\Delta U$$

Como o trabalho de 1000 J foi realizado sobre o gás, e não pelo gás, temos $\tau = -1000 \text{ J}$. Com isso, a variação da energia interna é $\Delta U = 1000 \text{ J}$.

- Observe o gráfico $p \times V$ para uma transformação gasosa $A \rightarrow B \rightarrow C$:

Faça o que se pede:

- Determine o trabalho realizado na transformação $A \rightarrow B$.



- Determine o trabalho realizado pelo gás na transformação $B \rightarrow C$.
- Se o aumento de energia interna do gás foi de 50 J, qual é a quantidade de calor fornecida ao gás para a realização do processo $A \rightarrow B \rightarrow C$ indicado?

Resolução

- A transformação $A \rightarrow B$ é isobárica, e o trabalho é dado por

$$\tau = p\Delta V \Rightarrow \tau = 2,0 \cdot 10^5 \cdot (5 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-4})$$
$$\therefore \tau = 80 \text{ J.}$$

- Como de B até C não há mudança de volume, o trabalho realizado é nulo.

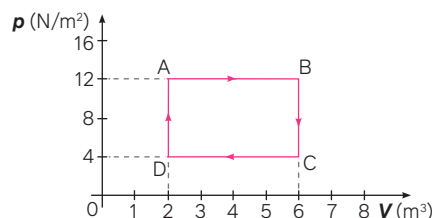
- De acordo com a primeira lei da termodinâmica:

$$Q = \tau + \Delta U \Rightarrow Q = 80 + 50$$
$$\therefore Q = 130 \text{ J.}$$



1. Observa-se um sistema termodinâmico no qual o gás realiza um trabalho de 100 J sobre o meio, sofrendo um acréscimo de sua energia interna de 155 J. Qual é a quantidade de calor envolvida nesse processo?
2. Observe as transformações da figura ($A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$, $D \rightarrow A$).

Calcule o trabalho de um ciclo completo.

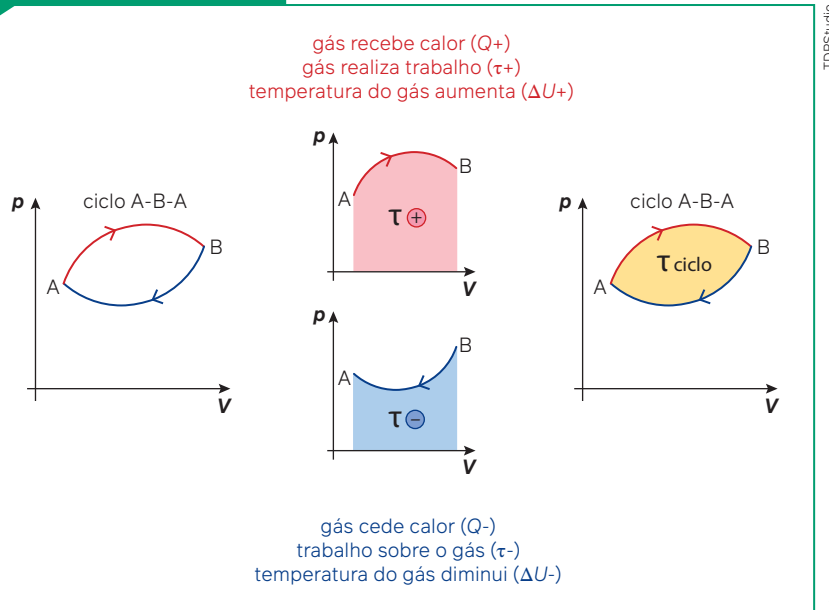


TDPStudio

A equação de estado dos gases ideais

No início do capítulo, falamos sobre **máquinas a vapor**, mostrando que são máquinas térmicas na qual a expansão do vapor é convertida diretamente no trabalho da máquina em sua função final: vapor fazendo trem andar; vapor movendo máquinas na indústria, entre outros exemplos. Mostramos o quanto as máquinas a vapor revolucionaram a humanidade e como, ao longo do tempo, foram substituídas por outras tecnologias mais eficazes. Entretanto, ainda hoje, as máquinas térmicas são tecnologias presentes e importantes para a indústria, mas possuem forma e função atualizadas: a queima de combustível move carros, tendo, agora, a combustão ocorrendo dentro do motor; o vapor move turbinas que são ligadas a geradores elétricos etc. Mas considerando os comportamentos dos gases e o que vimos até agora, como fazer uma máquina térmica funcionar sem parar? A resposta é que precisamos fornecer continuamente calor à máquina e precisamos ter uma máquina que opera em ciclos. Vimos que, em termodinâmica, um ciclo significa que um gás receberá calor, realizará trabalho e, ao final dessas transformações, o gás retornará às condições iniciais de volume, temperatura e pressão. Em outras palavras, o estado inicial do gás é igual ao estado final. Para isso, uma quantidade de calor precisa ser dispensada.

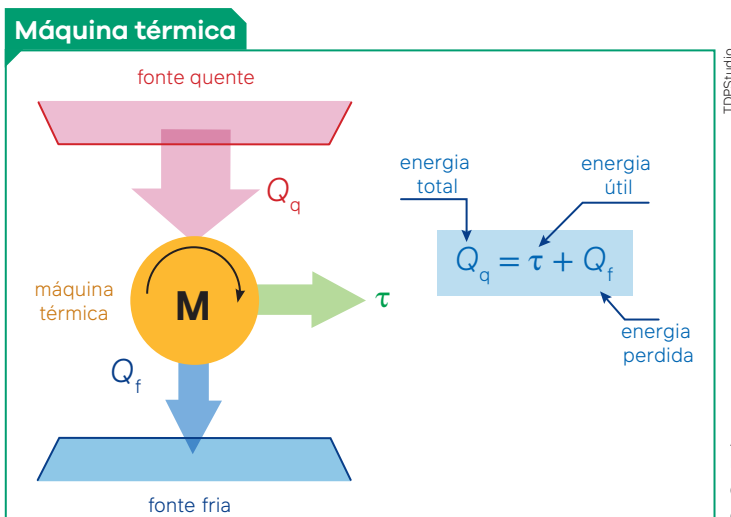
Ciclo termodinâmico



TDPStudio

Em um ciclo termodinâmico, uma máquina térmica recebe calor de uma fonte térmica, realiza trabalho e libera calor para retornar ao estado inicial. Uma organização esquemática de uma máquina térmica pode ser feita analisando:

- (i) a energia total disponível, como o calor recebido de uma fonte quente (Q_q), seja da queima de combustível, seja do calor vindo de um corpo de maior temperatura;
- (ii) a energia útil (τ), que é o trabalho realizado pela máquina térmica a cada ciclo; e
- (iii) a energia despendida para a fonte fria (Q_f), que, uma vez que não é aproveitada no ciclo, é perdida, conforme mostrado na imagem a seguir.



Análise esquemática de uma máquina térmica operando em ciclos e as energias envolvidas.

Em termos simples, fonte quente e fonte fria se referem às "vizinhanças" do gás na realização do ciclo. Uma região de maior temperatura, ou o calor da queima de um combustível, pode ser uma fonte quente. Uma região de menor temperatura, ou um radiador de calor liberando energia para o ambiente, pode ser uma fonte fria.

Como parte da energia é descartada para a fonte fria, o trabalho (τ) da máquina não é dado por 100% da energia total (Q_q). A relação entre a energia útil e a energia total de qualquer sistema motor é chamada de **rendimento** (η).

$$\eta = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{total}}}$$

$$\eta = \frac{\tau}{Q_q}$$

mas:

$$\tau = Q_q - Q_f$$

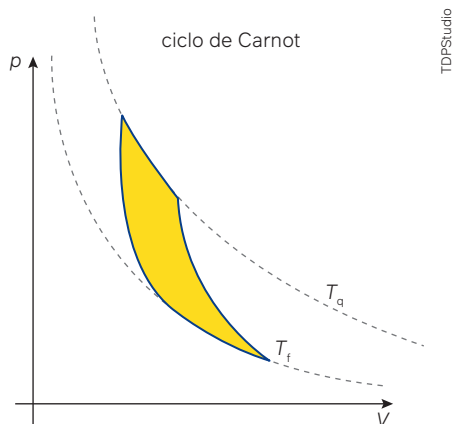
então:

$$\eta = \frac{Q_q - Q_f}{Q_q}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_q}$$

Rendimento máximo

Cada ciclo termodinâmico possui um rendimento que dependerá da forma como os gases se expandem e se contraem, além, ainda, das temperaturas nas quais esse processo ocorre. O máximo rendimento possível para uma máquina térmica ocorre quando essa máquina desenvolve um ciclo termodinâmico chamado de **ciclo de Carnot**, composto de duas transformações isotérmicas e duas transformações adiabáticas, conforme imagem a seguir.



$$\eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_q} \text{ (para qualquer ciclo)}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} \text{ (para ciclo de Carnot)}$$

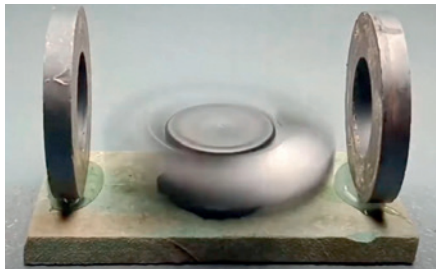
Ciclo de Carnot e rendimento máximo de uma máquina térmica. A denominação do processo é uma homenagem ao engenheiro e matemático francês Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832), que se dedicou ao estudo das conversões entre calor e trabalho.

O ciclo de Carnot oferece o máximo rendimento possível para uma máquina térmica. Neste caso em específico, o rendimento pode ser obtido pela relação $1 - \frac{T_f}{T_q}$, na qual T_f e T_q são as temperaturas absolutas da fonte fria e da fonte quente, respectivamente, entre as quais a máquina opera.

Segunda lei da Termodinâmica

Pensando no funcionamento das máquinas térmicas, podemos nos perguntar: Por que não construímos uma máquina térmica que não dispense calor para a fonte fria e, assim, teríamos 100% da energia convertida em energia útil? Se conseguíssemos essa façanha, teríamos uma máquina funcionando perpetuamente.

Fazendo uma busca rápida em redes sociais pelos termos “moto-perpétuo” ou “*perpetual motion*”, é possível encontrar propostas de máquinas que, em tese, funcionariam perpetuamente. Alguns exemplos são mostrados nas imagens a seguir.



Canal Melhorar/YouTube.com



NDA Hack/YouTube.com



Dr...Microbe/Alamy/Fotoarena

Imagens retiradas de redes sociais de supostas máquinas com movimento perpétuo.

E o que nos impede de fazer uma máquina assim? Não conseguimos um mecanismo que opere sem forças dissipativas (atrito e outras). Entretanto, mesmo que conseguíssemos uma máquina térmica com zero atrito, ainda assim não seria possível que essa máquina térmica tivesse um rendimento de 100%. Isso porque em ciclos termodinâmicos, se o gás não libera calor para uma fonte fria, ele não consegue retornar às condições iniciais. Logo:

É impossível construir uma máquina térmica que transforme todo o calor vindo de uma fonte quente em trabalho.

Essa afirmação é chamada de **enunciado de Kelvin-Planck** e é um dos enunciados que caracterizam a segunda lei da termodinâmica. Há outras formas e consequências dessa lei, uma delas é o enunciado de Clausius:

O calor só se transfere espontaneamente de um corpo de maior temperatura para um corpo de menor temperatura.

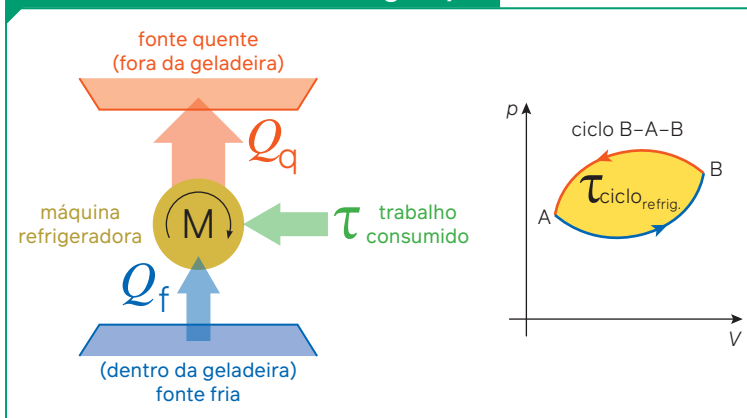
Pense em uma geladeira: dentro dela, a temperatura é menor do que fora dela. Se desligarmos a geladeira, depois de algumas horas, a temperatura dentro dela será próxima à temperatura fora dela. A única forma de a geladeira fazer o processo inverso, ou seja, transferir calor de dentro dela (mais frio) para fora dela (mais quente) é consumindo trabalho mecânico, conforme esquematizado na imagem a seguir. Nesse caso, o ciclo termodinâmico, no diagrama pressão x volume, é uma curva fechada que se percorre no sentido anti-horário.

Tabela de rendimento real de algumas máquinas térmicas

Máquina térmica	Rendimento real (%)
Motor a vapor	5 - 30
Motor de combustão interna	15 - 40
Turbina a gás	25 - 40
Usina termelétrica a carvão	30 - 40
Usina termelétrica a gás natural	40 - 50
Usina nuclear	30 - 35
Usina solar térmica	15 - 25
Ciclo de Rankine (geração de energia)	30 - 40
Ciclo de Brayton (geração de energia)	30 - 40
Refrigerador	40 - 60
Bomba de calor	20 - 60

Fonte: MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N.; BOETTNER, D. D. *Princípios de termodinâmica para engenharia*. 8. ed. Rio de Janeiro: Grupo Gen-LTC, 2018.

Ciclo termodinâmico de refrigeração



Adilson Secco

Esquema de um ciclo termodinâmico de refrigeração, com o calor forçado a se transferir da fonte fria para a fonte quente e o sentido anti-horário do ciclo no diagrama $P \times V$.

Como pudemos ver, a segunda lei da termodinâmica mostra que há uma limitação natural para os eventos físicos: eles sempre acontecem espontaneamente em um sentido; isto é, eles nunca acontecem sem que uma consequência seja verificada. Essas constatações têm impacto em todo nosso entendimento sobre o Universo.

Entropia ou a desordem inevitável do Universo

Embora tenha nascido da necessidade de explicar o funcionamento das máquinas térmicas, a segunda lei da termodinâmica desempenha um papel fundamental na dinâmica do universo. Essa lei, em conjunto com a grandeza entropia, nos ajuda a desvendar a “seta do tempo”, um efeito estatístico causado pelo fato de vivermos em um mundo composto de muitas e muitas partículas. A seta do tempo traduz a ideia de que não é possível inverter o sentido em que o tempo flui.

Por que o tempo só anda para a frente?

Imagine tentar fazer malabarismos com ovos. Se um deles acabar quebrando na sua cabeça, um banho e uma roupa limpa parecem ser as únicas soluções. Afinal, colocar a clara e a gema de volta na casca e juntar os pedaços é impossível, certo?

Bem, na realidade, não. Não há nenhuma lei fundamental da natureza que impeça que um ovo seja “desquebrado”. [...] Mas por que, então, não podemos “desquebrar” um ovo [...] ou até “destorcer” o tornozelo? Por que as coisas não se revertem? Por que o futuro é totalmente diferente do passado? Parecem ser perguntas simples. Mas para respondê-las, temos que ir até a origem do Universo [...].

[...] A primeira pessoa a encarar esse problema seriamente foi o físico austríaco Ludwig Boltzmann, que viveu na segunda metade do século 19. Naquela época, muitas das ideias que hoje sabemos serem verdadeiras ainda estavam sendo discutidas, inclusive a de que tudo é feito de [...] átomos. [...] O austríaco partiu de um [...] conceito: a entropia. Pela termodinâmica, todos os objetos do mundo têm uma certa quantidade de entropia associada a ele, e quando algo acontece, essa quantidade aumenta.

[...] Basicamente, se o universo como um todo se desloca de uma baixa entropia para uma alta entropia, nunca poderemos ver os acontecimentos se reverterem. Nunca veremos um ovo se “desquebrar” porque existem várias maneiras para rearranjar os pedaços dele [...]. A definição de entropia de Boltzmann explica até por que podemos nos lembrar do passado mas não podemos adivinhar o futuro. Para ele, o futuro é diferente do passado simplesmente porque a entropia aumenta.

[...]

BECKER, A. Por que o tempo só anda para a frente? *BBC News Brasil*, [s. l.], 2 jul. 2015. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/07/150630_vert_earth_sentido_tempo_ml. Acesso em: 22 jul. 2024.

O texto menciona a grandeza física chamada **entropia** (S) para falar da tendência de o tempo andar somente para a frente, um efeito que chamamos de **seta do tempo**. Em essência, essa grandeza é uma ferramenta que nos ajuda a compreender as evoluções termodinâmicas e as limitações dos processos termodinâmicos. Das diferentes formas de se analisar a entropia, uma das mais simples é o caso de trocas de calor por um corpo (ou uma fonte de calor) que não muda de temperatura. Nesses casos, quando um sistema recebe calor, sua entropia aumenta. Quando um sistema cede calor, sua entropia diminui. Quando a troca de calor é nula, a entropia se mantém constante.

Para esses sistemas, que mantêm a mesma temperatura, a variação da entropia é dada pela relação entre o calor trocado e a temperatura do sistema: $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$.

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

$$\Delta S_A = \frac{\Delta Q_A}{T_A}$$

$$\Delta S_A = -\frac{Q_A}{T_A}$$

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

$$\Delta S_B = \frac{\Delta Q_B}{T_B}$$

$$\Delta S_B = \frac{Q_B}{T_B}$$

$\Delta S_{\text{tot}} = \Delta S_A + \Delta S_B - \frac{Q}{T_A} + \frac{Q}{T_B} > 0$

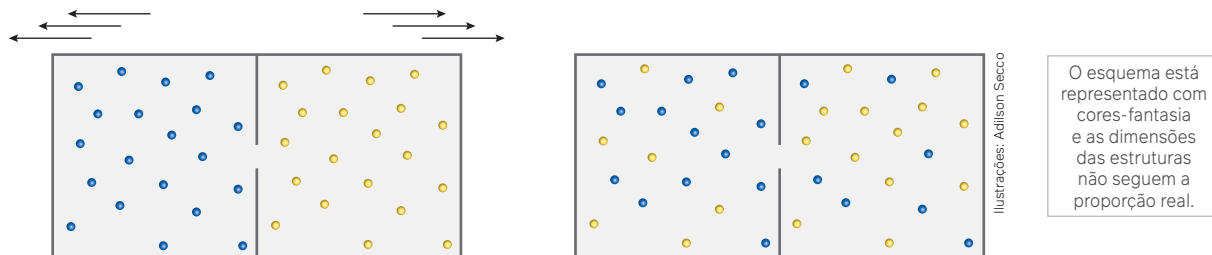
Entropia do sistema em uma troca de calor entre dois reservatórios térmicos com temperaturas diferentes.

Se uma quantidade de calor Q é transferida de um reservatório de calor de maior temperatura para outro de menor temperatura, a variação da entropia total é positiva. *Todo processo termodinâmico, mesmo que seja uma simples troca de calor, aumenta a entropia do universo.* Esse é outro enunciado da segunda lei da termodinâmica.

O fato de todo processo termodinâmico aumentar a entropia do universo nos dá uma consequência: desde o surgimento do universo, há aproximadamente 13,8 bilhões de anos; tudo que ocorreu de lá para cá, como a formação de galáxias, de planetas e o surgimento de estrelas, pulsares e outros, sempre aumentou a entropia do universo. Com isso, a cada segundo que se passa, a entropia do universo aumenta. Esse é um fato que nos permite dizer que o tempo sempre avança porque a entropia do universo sempre aumenta. Ao mesmo tempo, é o fato que nos impede de voltar no tempo, pois se retrocedermos no tempo, a entropia do universo diminuirá; e isso viola a segunda lei da termodinâmica.

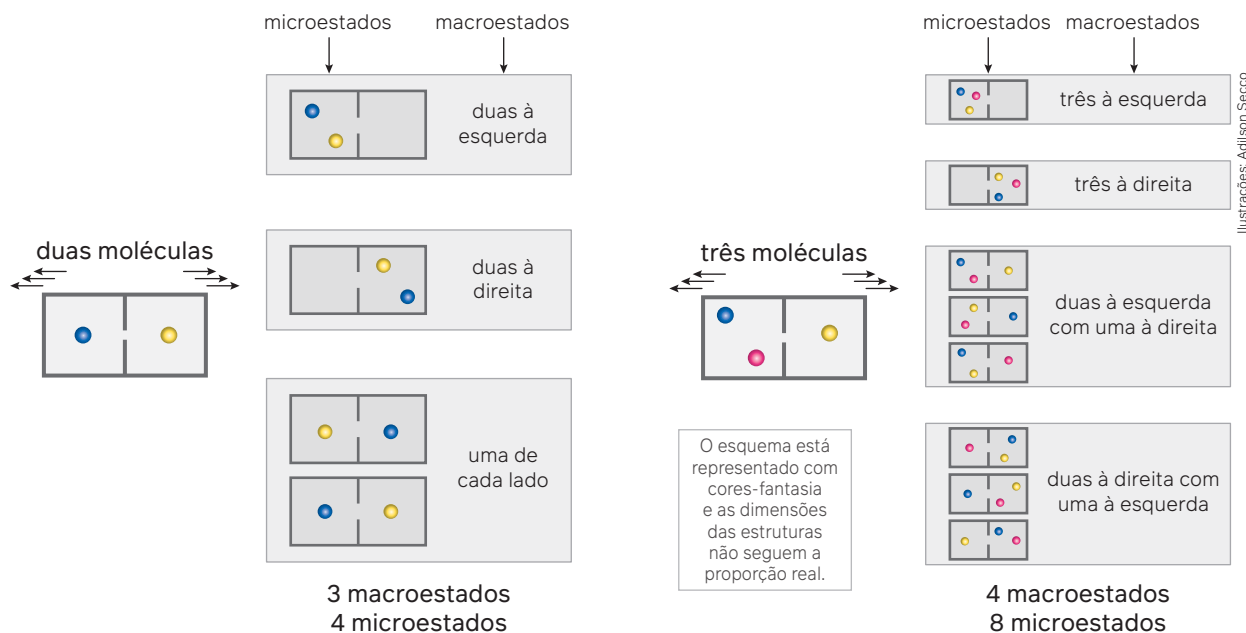
Entropia e probabilidades

A entropia é uma grandeza ligada à desordem dos sistemas. Quanto mais desordenadas estão as partículas de um sistema, maior é a sua entropia. Se uma caixa retangular, com uma divisória no meio e uma pequena abertura no centro for preenchida com bolinhas de gude de uma cor em um lado e bolinhas de outra cor no outro lado, e for então chacoalhada, após algum tempo, haverá uma probabilidade de que as bolinhas de ambas as cores se misturem, estando tanto no lado esquerdo quanto no lado direito.



Experimento demonstrativo com bolinhas de cores diferentes e entropia como desordem dos componentes de um sistema.

Esse experimento mostra que podemos entender a entropia como uma probabilidade de microestados promoverem um certo arranjo em um macroestado de um sistema. Quanto mais desordenado um sistema está, mais difícil é saber qual é o microestado que promove o macroestado. Pensemos em dois casos hipotéticos: duas moléculas de um gás e três moléculas de um gás, respectivamente:



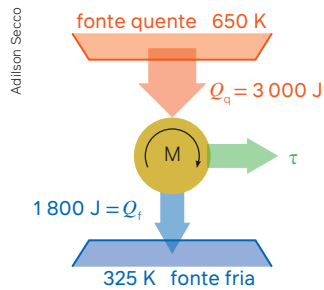
Micro e macroestados e suas multiplicidades para duas e para três moléculas em uma caixa dividida.

A entropia de um sistema está diretamente ligada à quantidade de microestados reais possíveis do sistema considerado (por exemplo, o gás). Isso porque quanto mais microestados forem possíveis para um gás, menos podemos saber, medindo suas variáveis de estado macroscopicamente, sobre as partículas do gás. A informação sobre o microestado real do gás está lá, mas não podemos acessá-la. É por isso que nunca veremos um copo se “desquebrar”: existem várias maneiras para rearranjar os pedaços dele, e quase todas elas levam a um copo quebrado, em vez de um copo intacto.

Essa forma de identificar a entropia de um sistema, proposta por Boltzmann, foi feita com base em conceitos de probabilidades e estatística, em que ele mostrou que a entropia (S) depende de todos os microestados possíveis (W) de um sistema em um certo macroestado. A equação de Boltzmann para a entropia ($S = k \cdot \ln W$, em que $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$) é central no estudo de um ramo da Física chamado Mecânica Estatística.

Atividades comentadas

1. Uma máquina a vapor opera entre uma caldeira a 650 K e um sistema que resfria o vapor de volta a 325 K.



A cada ciclo, a máquina toma 3000 J da fonte quente e dispensa 1800 J para a fonte fria. Com base nessas afirmações, faça o que se pede:

- Qual é o trabalho realizado pela máquina a cada ciclo?
- Qual é o rendimento dessa máquina?
- Qual seria o máximo rendimento possível dessa máquina térmica?

Resolução

- a) O trabalho é dado pela diferença entre a quantidade de energia retirada da fonte quente e a quantidade de energia dispensada para a fonte fria:

$$Q_q = \tau + Q_f \Rightarrow \tau = Q_q - Q_f \Rightarrow \tau = 3000 - 1800 \therefore \tau = 1200 \text{ J}$$

- b) O rendimento é a relação entre a energia útil (τ) e a energia total disponível (Q_q):

$$\eta = \frac{\tau}{Q_q} \Rightarrow \eta = \frac{1200}{3000} \Rightarrow \eta = 0,4 \text{ ou } \eta = 40\% \text{ do total de energia.}$$

- c) O rendimento máximo ocorreria com a máquina realizando um ciclo de Carnot:

$$\eta_{\max} = \eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_f}{T_q} \quad \left| \quad \eta_{\max} = 1 - 0,5 \right.$$

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_f}{T_q} \quad \left| \quad \eta_{\max} = 0,5 \right.$$

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{325}{650}$$

$$\eta_{\max} = 50\%$$

Atividades propostas



1. Observe as duas imagens a seguir do mesmo copo, você saberia dizer qual das duas fotografias foi tirada primeiro? Utilize seus conhecimentos sobre a segunda lei da termodinâmica para responder.

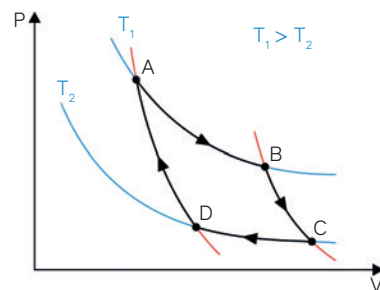


2. (UFSM-RS – 2003) Considere as afirmações:
- É impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclos, retire energia na forma de calor de uma fonte, transformando-a integralmente em trabalho.
 - Refrigeradores são dispositivos que transferem energia na forma de calor de um sistema de menor temperatura para outro de maior temperatura.
 - A energia, na forma de calor, não passa espontaneamente de um corpo de menor temperatura para outro de maior temperatura.

Está(ão) CORRETA(S)

- apenas I.
- apenas II.
- apenas I e III.
- apenas II e III.
- I, II e III.

3. (UEA – 2018) O gráfico ilustra as alternâncias entre transformações isotérmicas e adiabáticas em um Ciclo de Carnot:



Os trechos de C até D e de D até A representam, respectivamente,

- a expansão isotérmica e a expansão adiabática.
- a expansão adiabática e a expansão isotérmica.
- a expansão adiabática e a compressão isotérmica.
- a compressão isotérmica e a expansão adiabática.
- a compressão isotérmica e a compressão adiabática.

Neste capítulo, aprendemos sobre o papel da Termodinâmica nos processos universais e os impactos do seu desenvolvimento na história da humanidade, determinando o curso da Primeira Revolução Industrial. Aprendemos também sobre o comportamento dos gases e a relação entre as variáveis de estado $pV = nRT$.

Vimos que os gases, ao se expandirem, podem realizar trabalho ($\tau = p\Delta V$ para a transformação isobárica) e que isso permite a construção de máquinas térmicas. No entanto, há uma limitação natural das máquinas térmicas: elas jamais poderão realizar trabalho convertendo integralmente a energia disponível em energia útil. Mesmo as máquinas térmicas com maior rendimento possível, operando em um ciclo de Carnot, não poderiam converter a totalidade da energia em trabalho.

As implicações dos temas deste capítulo vão desde o entendimento da crise global climática até a seta do tempo na evolução do Universo.

Agora, construa um mapa de ideias organizando, em uma rede de conexões, os principais conceitos estudados no capítulo, indicando o significado de cada conceito no mapa.

No material do professor, há exemplos simples de equipamentos *low-tech*, como o fogão com aproveitamento da luz do Sol ou a comunicação usando a gravitação e a força muscular, até projetos mais complexos, como um gerador de energia através da biomassa. Também traz a sugestão de mobilizar um grande *hackaton low-tech* na escola, com as equipes competindo entre si

Planeje e resolva

Energia e princípios da conservação

Pode não parecer, mas a invenção das máquinas com engrenagens movidas pela força do ser humano e dos animais iniciou uma profunda transformação nos modos de vida e de produção. Depois dela, o uso do carvão e do petróleo como combustíveis de baixo custo continuou e acelerou esse processo, mudando completamente o ambiente dentro e fora das residências. E é aqui que o modo de vida da humanidade deixa de ser sustentável. Comece a pensar sobre isso, procurando na internet informações sobre “o dia da sobrecarga da Terra”: O que é isso? O que representa essa data?

Para dispor das facilidades trazidas pelas máquinas, além de fabricá-las e adquiri-las, é indispensável que sejam alimentadas com combustível. Um carro, por exemplo, tem pouca utilidade sem isso. Do mesmo modo, suspender objetos, construir prédios ou casas, controlar a temperatura do ambiente ou das substâncias, promover a transformação do estado da matéria (congelar, derreter), cozinhar, enfim, todas essas atividades e outras realizadas no cotidiano demandam algum tipo de energia. E nem sempre ela vem da mesma fonte. Assim, apesar de quase invisível, o combustível é tão importante e tão presente no cotidiano quanto as próprias máquinas.

Mesmo que a presença constante da energia muitas vezes passe despercebida no dia a dia, ela está bem aí, ao seu redor, em cada eletrodoméstico, em cada veículo e até no simples fato de manter a casa aquecida no inverno ou resfriada no verão. O uso constante de energia tem um impacto considerável no planeta, e as formas como a consumimos precisam ser repensadas. Imagine um dia em que todos os combustíveis fósseis, como o petróleo e o carvão, se esgotem. Como nossas atividades cotidianas seriam impactadas? Quais alternativas de energia poderíamos adotar para evitar que isso ocorra?

A busca por fontes de energia renováveis e sustentáveis é um dos maiores desafios do nosso tempo. Fontes como a energia solar, eólica e hidráulica estão ganhando cada vez mais espaço, mas elas ainda representam uma pequena fração da energia total consumida mundialmente. É fundamental que, além de buscar novas fontes, aprendamos também a reduzir o desperdício de energia, utilizando-a de maneira mais eficiente.

Agora é com você!

Planeje e construa uma máquina que funcione apenas com a força humana ou que aproveite as fontes de energia presentes ao redor, como a solar, a gravitacional ou a mecânica. É importante que não seja mais uma engenhoca desnecessária. Sua invenção precisa substituir um equipamento que existe de verdade. Quando estiver pronta, apresente-a a seus colegas, valorizando suas qualidades e apontando as dificuldades do uso.

Refleta sobre como essa nova invenção poderia ser aplicada no cotidiano, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis e contribuindo para um futuro mais sustentável.



- (Fuvest-SP – 2022) Uma criança deixa cair de uma mesma altura duas maçãs, uma delas duas vezes mais pesada do que a outra. Ignorando a resistência do ar e desprezando as dimensões das maçãs frente à altura inicial, o que é correto afirmar a respeito das energias cinéticas das duas maçãs na iminência de atingirem o solo?
 - A maçã mais pesada possui tanta energia cinética quanto a maçã mais leve.
 - A maçã mais pesada possui o dobro da energia cinética da maçã mais leve.
 - A maçã mais pesada possui a metade da energia cinética da maçã mais leve.
 - A maçã mais pesada possui o quádruplo da energia cinética da maçã mais leve.
 - A maçã mais pesada possui um quarto da energia cinética da maçã mais leve.

- (Fuvest-SP – 2020) Um equipamento de *bungee jumping* está sendo projetado para ser utilizado em um viaduto de 30 m de altura. O elástico utilizado tem comprimento relaxado de 10 m. Qual deve ser o mínimo valor da constante elástica desse elástico para que ele possa ser utilizado com segurança no salto por uma pessoa cuja massa, somada à do equipamento de proteção a ela conectado, seja de 120 kg? Note e adote:

Despreze a massa do elástico, as forças dissipativas e as dimensões da pessoa;
Aceleração da gravidade = 10 m/s^2 .

Despreze a massa do elástico, as forças dissipativas e as dimensões da pessoa;
Aceleração da gravidade = 10 m/s^2 .

- 30 N/m
 - 80 N/m
 - 90 N/m
 - 160 N/m
 - 180 N/m
- (Unicamp-SP – 2023) O balonismo, um esporte aeronáutico com adeptos em todo o mundo, oferece um belo espetáculo para os observadores no solo. Um maçarico é usado para aquecer o ar no interior do balão, o que faz variar a densidade do ar, permitindo o controle do movimento de subida e descida do balão.

A massa total de um balão em um movimento de descida, desde a altura inicial $h = 80 \text{ m}$ até o solo, é $m = 2000 \text{ kg}$. Qual é o trabalho da força peso sobre o balão durante a descida?

- $2,0 \cdot 10^4 \text{ J}$.
- $1,6 \cdot 10^5 \text{ J}$.
- $2,0 \cdot 10^5 \text{ J}$.
- $1,6 \cdot 10^6 \text{ J}$.

- (UERR – 2017) Nas Olimpíadas do Rio de Janeiro desse ano o atleta Chinês Qinquan Long ergueu 307 kg de

massa e se tornou o novo recordista mundial da sua categoria nessa modalidade. Considerando a aceleração da gravidade como sendo igual a $9,8 \text{ m/s}^2$ no Pavilhão 2 do Riocentro, local onde foi realizada a prova, e que o atleta consegue levantar a barra a uma altura de aproximadamente 1,90 m em relação ao solo, podemos afirmar que a energia potencial gravitacional que atuava nas mãos de Qinquan Long era de aproximadamente:

- 5,7 kJ
- 57 J
- 583 J
- 3 kJ
- 18,6 J

- (UERJ – 2023) Em uma praça, uma criança com massa de 30 kg desce por um escorrega. A altura considerada do topo do escorrega até seu ponto mais baixo é de 2 m, como ilustra a figura a seguir.



UERJ, 2023

Sabe-se que a aceleração da gravidade é igual a 10 m/s^2 e que, durante a descida da criança, ocorre uma perda de energia mecânica de 60%. Ao atingindo o ponto mais baixo do escorrega, a velocidade da criança, em m/s, é igual a:

- 4,0
- 5,0
- 7,0
- 8,0

- (Fema – 2017) Para conseguir mensurar o que pode ser feito com a quantidade de energia recomendada para o consumo diário de uma pessoa adulta (2000 kcal/dia), um aluno resolveu calcular, entre outras coisas, a altura a que um objeto de massa 42 kg, equivalente à de seu corpo, deveria ser erguido para acumular, sob a forma de energia potencial gravitacional, a mesma quantidade de energia recomendada para consumo diário. Sabendo que 1 cal é equivalente a 4,2 J, a altura a que o objeto deveria ser erguido é igual a
 - 10 000 m.
 - 60 000 m.
 - 40 000 m.
 - 80 000 m.
 - 20 000 m.

7. (Unicamp-SP – 2012) As eclusas permitem que as embarcações façam a transposição dos desníveis causados pelas barragens. Além de ser uma monumental obra de engenharia hidráulica, a eclusa tem um funcionamento simples e econômico. Ela nada mais é do que um elevador de águas que serve para subir e descer as embarcações. A eclusa de Barra Bonita, no rio Tietê, tem um desnível de aproximadamente 25 m. Qual é o aumento da energia potencial gravitacional quando uma embarcação de massa $m = 1,2 \cdot 10^4$ kg é elevada na eclusa?

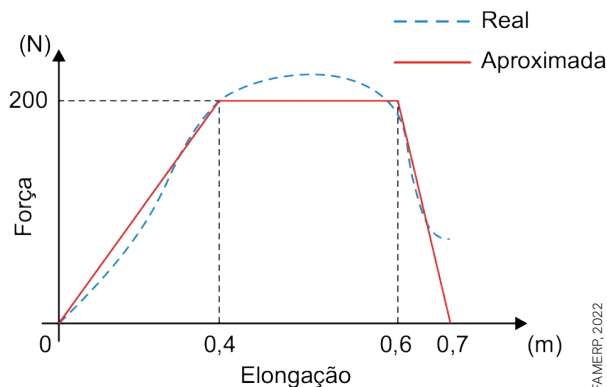
- a) $4,8 \cdot 10^2$ J.
- b) $1,2 \cdot 10^5$ J.
- c) $3,0 \cdot 10^5$ J.
- d) $3,0 \cdot 10^6$ J.

8. (Mackenzie – 2021) Um corpo de massa 4 kg é comprimido contra uma mola ideal de constante elástica 400 N/m, deformando-a em 20 cm. Ao ser liberada, a mola projeta o corpo ao longo de uma superfície horizontal, que termina em uma rampa.

A altura máxima ($h_{\text{máx}}$) atingida pelo bloco ao subir a rampa é de 15 cm, e a aceleração da gravidade local $g = 10 \text{ m/s}^2$. A energia mecânica dissipada pelos diversos atritos que se opuseram ao movimento do bloco, desde a expansão da mola até atingir a altura máxima de 15 cm na rampa, foi

- a) 1 J
- b) 1,5 J
- c) 2 J
- d) 2,5 J
- e) 3 J

9. (Famerp – 2022) O arco composto, utilizado nas competições de tiro com arco, apresenta uma característica de tração diferente dos arcos tradicionais. No arco composto, inicialmente a força aplicada para puxar a flecha aumenta com a elongação, assim como no arco tradicional. Porém, graças a um sistema de polias ovais, após determinada elongação, a força necessária para segurar a flecha do arco composto começa a diminuir. No gráfico, pode-se observar a curva real da força aplicada pelo arqueiro em um arco composto em função da elongação e uma curva aproximada.



FAMERP, 2022

Utilize a curva aproximada apresentada no gráfico e considere que todo o trabalho realizado pela força aplicada pelo arqueiro seja convertido em energia potencial elástica no arco e que esta seja totalmente transferida na forma de energia cinética para uma flecha de $18 \cdot 10^{-3}$ kg. Nessa situação, a velocidade que a flecha adquire logo após abandonar o arco é de

- a) 50 m/s.
- b) 100 m/s.
- c) 125 m/s.
- d) 75 m/s.
- e) 25 m/s.

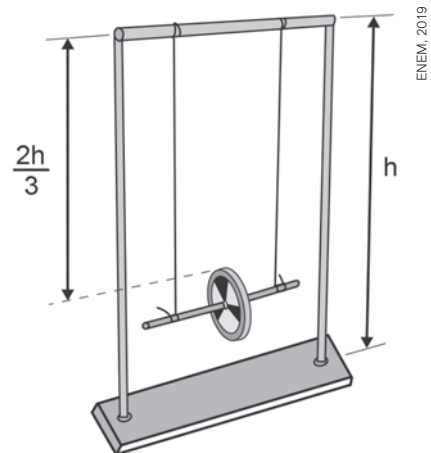
10. (Enem – 2019) Numa feira de ciências, um estudante utilizará o disco de Maxwell (ioiô) para demonstrar o princípio da conservação da energia. A apresentação consistirá em duas etapas.

Etapa 1 – a explicação de que, à medida que o disco desce, parte de sua energia potencial gravitacional é transformada em energia cinética de translação e energia cinética de rotação;

Etapa 2 – o cálculo da energia cinética de rotação do disco no ponto mais baixo de sua trajetória, supondo o sistema conservativo.

Ao preparar a segunda etapa, ele considera a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 e a velocidade linear do centro de massa do disco desprezível em comparação com a velocidade angular. Em seguida, mede a altura do topo do disco em relação ao chão no ponto mais baixo de sua trajetória, obtendo $\frac{1}{3}$ da altura da haste do brinquedo.

As especificações de tamanho do brinquedo, isto é, de comprimento (C), largura (L) e altura (A), assim como da massa de seu disco de metal, foram encontradas pelo estudante no recorte de manual ilustrado a seguir.



ENEM, 2019

Conteúdo: base de metal, hastes metálicas, barra superior, disco de metal.

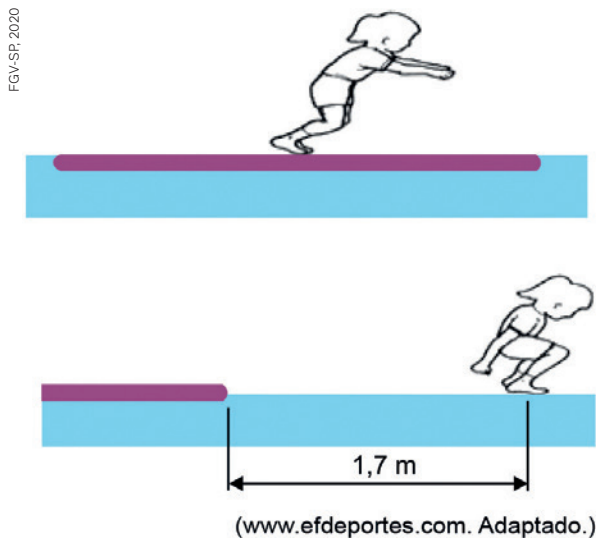
Tamanho (C x L x A): 300 mm x 100 mm x 410 mm.

Massa do disco de metal: 30 g.

O resultado do cálculo da etapa 2, em joule, é:

- a) $4,10 \cdot 10^{-2}$
- b) $8,20 \cdot 10^{-2}$
- c) $1,23 \cdot 10^{-1}$
- d) $8,20 \cdot 10^4$
- e) $1,23 \cdot 10^5$

15. (FGV – 2020) Uma criança de massa 40 kg estava em pé no centro de uma prancha plana, de massa 12 kg, que flutuava em repouso na superfície da água de uma piscina. Em certo instante, a criança saltou, na direção do comprimento da prancha, com velocidade horizontal constante de 0,6 m/s em relação ao solo, ficou no ar por 1,0 s e caiu na piscina a 1,7 m da extremidade da prancha.

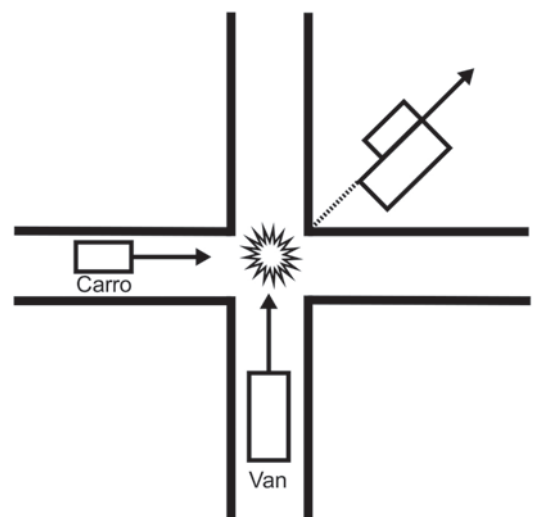


De acordo com as informações e desprezando as perdas de energia, o comprimento desta prancha é

- a) 0,9 m.
 b) 1,2 m.
 c) 1,6 m.
 d) 1,8 m.
 e) 2,2 m.
16. (Uema – 2023) Um dos objetivos da Agenda para o Desenvolvimento Sustentável 2030 é sobre segurança no trânsito, que prevê reduzir pela metade o número global de mortes e de lesões causadas por acidentes de trânsito, considerando o número de vítimas até 2020. Esses acidentes são causados pelo uso do celular, pelo excesso de velocidade, pela ingestão de álcool e por outras imprudências, caracterizadas como principais causas de acidentes de trânsito. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), cerca de 1,25 milhões de pessoas morrem no mundo por ano em acidentes de trânsito, e desse total, metade das vítimas são pedestres, ciclistas e motociclistas. Analise a seguinte situação problema: Suponha que um motorista, dirigindo um carro, com massa de 800 kg e com uma velocidade de 108 km/h, resolve atender ao celular. Distraindo-se, colide com outro carro, com massa de 1 tonelada, que estava parado. A colisão entre os carros foi perfeitamente inelástica e a força que deforma os carros atuou durante o intervalo de tempo de 0,1 s. Determine a velocidade dos carros, em km/h, imediatamente após a colisão.

- a) 30
 b) 108
 c) 48
 d) 96
 e) 86,4

17. (Enem – 2021) Foi realizada uma perícia técnica de um acidente de trânsito em que um carro colidiu com uma van em um cruzamento a 90°, como esquematizado na figura. A van tem massa duas vezes maior que o carro. Depois da colisão, os dois veículos permaneceram “grudados” um ao outro e deslocaram-se a um ângulo de 45° com a direção de suas velocidades iniciais. Um radar mediou o módulo da velocidade da van, imediatamente antes da colisão, encontrando 40 km/h.



Qual o valor do módulo da velocidade do carro, em quilômetro por hora (km/h), imediatamente antes da colisão?

- a) 20
 b) $2\sqrt{2}$
 c) 40
 d) $40\sqrt{2}$
 e) 80
18. (Enem – 2016) O trilho de ar é um dispositivo utilizado em laboratórios de física para analisar movimentos em que corpos de prova (carrinhos) podem se mover com atrito desprezível. A figura ilustra um trilho horizontal com dois carrinhos (1 e 2) em que se realiza um experimento para obter a massa do carrinho 2. No instante em que o carrinho 1, de massa 150,0 g, passa a se mover com velocidade escalar constante, o carrinho 2 está em repouso. No momento em que o carrinho 1 se choca com o carrinho 2, ambos passam a se movimentar juntos com velocidade escalar constante. Os sensores eletrônicos distribuídos ao longo do trilho determinam as posições e registram os instantes associados à passagem de cada carrinho, gerando os dados do quadro. Com base nos dados experimentais, o valor da massa do carrinho 2 é igual a

23. (Enem – 2012)



ENEM, 2012

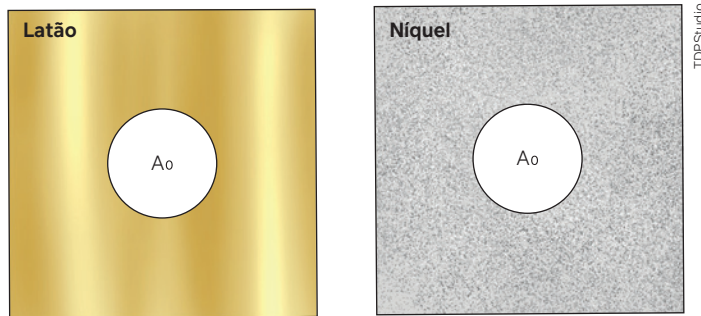
O quadro oferece os coeficientes de dilatação linear de alguns metais e ligas metálicas:

Substância	Aço	Alumínio	Bronze	Chumbo	Níquel	Latão	Ouro	Platina	Prata	Cobre
Coeficiente de dilatação linear ($\times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)	1,2	2,4	1,8	2,9	1,3	1,8	1,4	0,9	2,4	1,7

GRAF. Física 2: calor e ondas. São Paulo: Edusp, 1993.

Para permitir a ocorrência do fato observado na tirinha, a partir do menor aquecimento do conjunto, o parafuso e a porca devem ser feitos, respectivamente, de

- a) aço e níquel.
 - b) alumínio e chumbo.
 - c) platina e chumbo.
 - d) ouro e latão.
 - e) cobre e bronze.
24. (Fema – 2017) Duas placas retangulares de espessuras desprezíveis, uma de latão e a outra de níquel, apresentam um orifício circular de área A_0 , à temperatura ambiente T_0 , como mostram as figuras.



Com o aquecimento dessas duas placas a uma mesma temperatura final T , os orifícios têm suas áreas alteradas para os valores A_L , para o latão, e A_{Ni} , para o níquel. Sabendo que o coeficiente de dilatação linear do latão é maior que o do níquel, na temperatura final T , as áreas A_L , A_{Ni} e A_0 guardam entre si a relação:

- a) $A_L < A_{Ni} < A_0$
 - b) $A_{Ni} > A_L > A_0$
 - c) $A_L > A_{Ni} > A_0$
 - d) $A_L = A_{Ni} < A_0$
 - e) $A_L = A_{Ni} = A_0$
25. (PUC-PR – 2019) Em geral, ao aquecer um corpo, ele passa por um aumento no seu volume e isso é bem utilizado na indústria. Para passar determinada peça de metal por um suporte na forma de anel muito justo, é possível aquecer esse anel e, devido ao aumento de seu volume, passar a esfera e após a temperatura voltar ao valor inicial, os dois ficam bem presos.

Imagine que um anel apresenta área interna de 20 cm^2 e para que uma peça passe por seu interior precisa atingir área de $20,8 \text{ cm}^2$. Considere que o determinado material tenha um coeficiente de dilatação linear de $25 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e

que para a variação de temperatura não ocorra mudança de estado físico da peça em questão. Nesse contexto, calcule qual deverá ser a variação de temperatura imposta ao material para que seja possível atravessar a peça pretendida por dentro do anel.

- a) 100 °C
- b) 200 °C
- c) 400 °C
- d) 800 °C
- e) 1 200 °C

26. (Fuvest-SP – 2019) Em uma garrafa térmica, são colocados 200 g de água à temperatura de 30 °C e uma pedra de gelo de 50 g, à temperatura de -10 °C. Após o equilíbrio térmico,

Note e adote: calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g; calor específico do gelo = 0,5 cal/g °C; calor específico da água = 1,0 cal/g °C.

- a) todo o gelo derreteu e a temperatura de equilíbrio é 7 °C.
- b) todo o gelo derreteu e a temperatura de equilíbrio é 0,4 °C.
- c) todo o gelo derreteu e a temperatura de equilíbrio é 20 °C.
- d) nem todo o gelo derreteu e a temperatura de equilíbrio é 0 °C.
- e) o gelo não derreteu e a temperatura de equilíbrio é -2 °C.

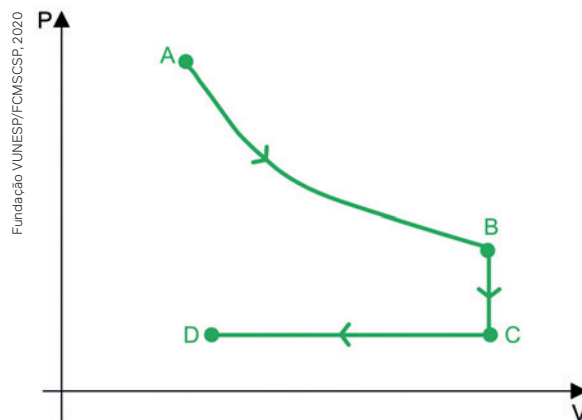
27. (Enem – 2020) A água sofre transições de fase sem que ocorra variação da pressão externa. A figura representa a ocorrência dessas transições em um laboratório.



Tendo como base as transições de fase representadas (1 a 4), a quantidade de energia absorvida na etapa 2 é igual à quantidade de energia

- a) liberada na etapa 4.
- b) absorvida na etapa 3.
- c) liberada na etapa 3.
- d) absorvida na etapa 1.
- e) liberada na etapa 1.

28. (FCMSCSP-Santa Casa – 2020) O diagrama $p \times V$ mostra as transformações isotérmica (AB), isovolumétrica (BC) e isobárica (CD) sofridas por certa massa de gás ideal.



A energia interna do gás diminuiu

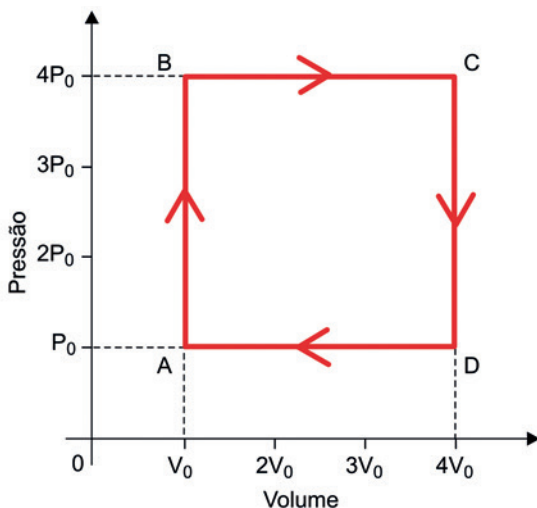
- a) apenas na transformação CD.
- b) apenas na transformação AB.
- c) em todas as transformações.
- d) apenas nas transformações BC e CD.
- e) apenas nas transformações AB e BC.

29. (Enem – 2019) Em uma aula experimental de calorimetria, uma professora queimou 2,5 g de castanha-de-caju crua para aquecer 350 g de água, em um recipiente apropriado para diminuir as perdas de calor. Com base na leitura da tabela nutricional a seguir e da medida da temperatura da água, após a queima total do combustível, ela concluiu que 50% da energia disponível foi aproveitada. O calor específico da água é $1 \text{ cal}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$, e sua temperatura inicial era de $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Quantidade de porção de 10 g (2 castanhas)	
Valor Energético	70 kcal
Carboidratos	0,8 g
Proteínas	3,5 g
Gorduras	3,5 g

Qual foi a temperatura da água, em grau Celsius, medida ao final do experimento?

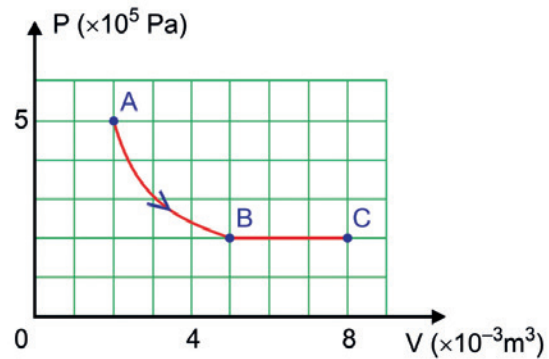
- a) 25
b) 27
c) 45
d) 50
e) 70
30. (Albert Einstein – 2022) Determinada massa constante de gás ideal sofre a transformação cíclica ABCDA, representada no diagrama pressão x volume.



Sendo T a temperatura absoluta desse gás em cada um dos estados indicados no diagrama, afirma-se que

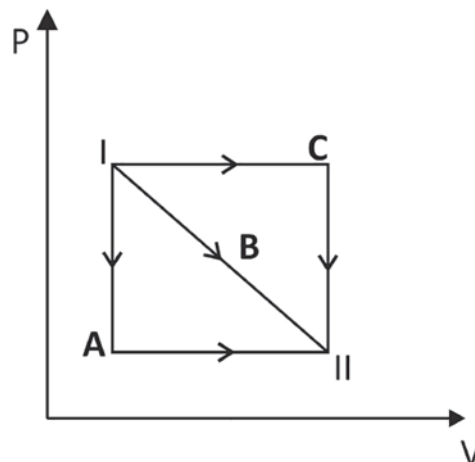
- a) $T_A = T_C$
b) $T_A = T_B$
c) $T_B = T_C$
d) $T_C = T_D$
e) $T_B = T_D$

31. (UEA – 2020) Um gás ideal sofre uma expansão partindo de um estado A, passando por B e terminando em C, conforme mostra o gráfico.



Sabendo que a transformação AB é isotérmica e que nessa etapa da expansão o gás recebeu 300 J de energia em forma de calor, o trabalho total na transformação de A para C foi igual a

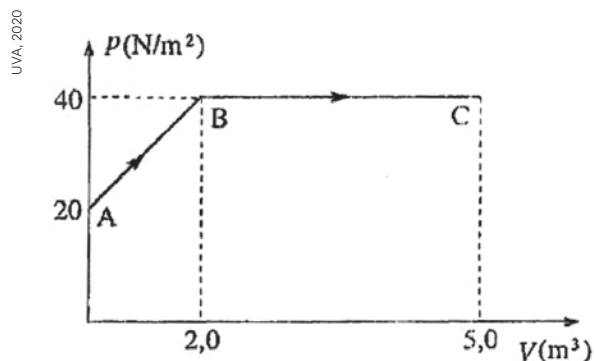
- a) 300 J.
b) 600 J.
c) 900 J.
d) 1 100 J.
e) 1 500 J.
32. (Fuvest-SP – 2019) No diagrama $p \times V$ da figura, A, B e C representam transformações possíveis de um gás entre os estados I e II.



Com relação à variação ΔU da energia interna do gás e ao trabalho W por ele realizado, entre esses estados, é correto afirmar que

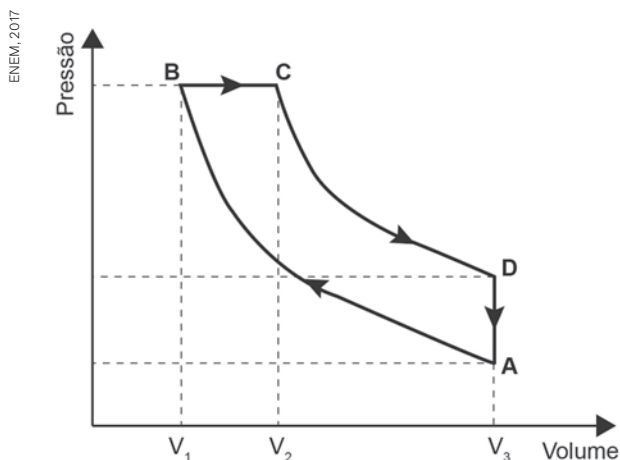
- a) $\Delta U_A = \Delta U_B = \Delta U_C$ e $W_C > W_B > W_A$.
- b) $\Delta U_A > \Delta U_C > \Delta U_B$ e $W_C = W_A < W_B$.
- c) $\Delta U_A < \Delta U_B < \Delta U_C$ e $W_C > W_B > W_A$.
- d) $\Delta U_A = \Delta U_B = \Delta U_C$ e $W_C = W_A > W_B$.
- e) $\Delta U_A > \Delta U_B > \Delta U_C$ e $W_C = W_B = W_A$.

33. (UVA - 2020) Considere o gráfico $p \times V$ a seguir. Ele mostra duas $p \times V$ transformações experimentadas por um gás ideal: de A para B e de B para C.



Calcule o trabalho mecânico realizado pelo gás durante a expansão de A até C.

- a) 180 J.
 - b) 200 J.
 - c) 280 J.
 - d) 360 J.
34. (Enem - 2017) Rudolf Diesel patenteou um motor a combustão interna de elevada eficiência, cujo ciclo está esquematizado no diagrama pressão x volume. O ciclo Diesel é composto por quatro etapas, duas das quais são transformações adiabáticas. O motor de Diesel é caracterizado pela compressão de ar apenas com a injeção do combustível no final.



No ciclo Diesel, o calor é absorvido em:

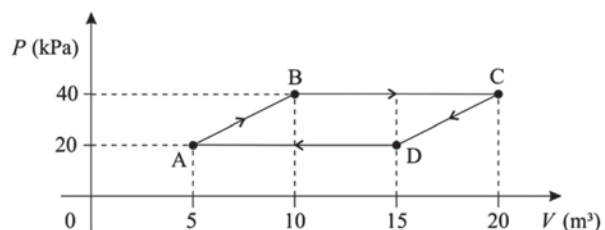
- a) $A \rightarrow B$ e $C \rightarrow D$, pois em ambos ocorre realização de trabalho.

- b) $A \rightarrow B$ e $B \rightarrow C$, pois em ambos ocorre elevação da temperatura.
- c) $C \rightarrow D$, pois representa uma expansão adiabática e o sistema realiza trabalho.
- d) $A \rightarrow B$, pois representa uma compressão adiabática em que ocorre elevação da temperatura.
- e) $B \rightarrow C$, pois representa expansão isobárica em que o sistema realiza trabalho e a temperatura se eleva.

35. (FCM-PB - 2019) Qual o rendimento máximo de uma máquina a vapor cuja caldeira esteja a 650 K, o vapor é resfriado na saída por um condensador e chega a 325 K?

- a) 5%
- b) 10%
- c) 58%
- d) 50%
- e) 65%

36. (UFPR - 2022) Uma certa quantidade de gás ideal executa o ciclo termodinâmico ABCDA no sentido horário, conforme ilustrado na figura a seguir.



Considerando os dados apresentados na figura e no enunciado, assinale a alternativa que apresenta corretamente o valor do trabalho total W realizado pelo gás ao longo de todo o ciclo ABCDA.

- a) $W = -200$ kJ
- b) $W = -100$ kJ
- c) $W = 100$ kJ
- d) $W = 200$ kJ
- e) $W = 400$ kJ

37. (Enem - 2016) Até 1824 acreditava-se que as máquinas térmicas, cujos exemplos são as máquinas a vapor e os atuais motores a combustão, poderiam ter um funcionamento ideal. Sadi Carnot demonstrou a impossibilidade de uma máquina térmica, funcionando em ciclos entre duas fontes térmicas (uma quente e outra fria), obter 100% de rendimento. Tal limitação ocorre porque essas máquinas

- a) realizam trabalho mecânico.
- b) produzem aumento da entropia.
- c) utilizam transformações adiabáticas.
- d) contrariam a lei da conservação de energia.
- e) funcionam com temperatura igual à da fonte quente.



As ondas estão em lugares que podem parecer óbvios, ou nem tanto. Algumas vezes é possível vê-las, em outros momentos, não.

kekate16/Shutterstock.com

Ondulatória

Vivemos em um Universo ondulante. Temos um dia a dia ondulante, mesmo que muitas vezes não percebamos esse fenômeno. Desde a transferência de dados, o *streaming* de vídeos e jogos, até mesmo o texto dessa página que você lê agora, todos são acontecimentos cotidianos relacionados a um fenômeno natural que chamamos de onda. Pensamos imediatamente em ondas quando vemos um surfista na água do mar. Contudo, muitas vezes não pensamos em ondas quando compramos uma lâmpada para o banheiro, nem quando respondemos uma mensagem em uma rede social utilizando um celular, *tablet* ou computador. Por isso, nesta unidade, aprenderemos como funcionam diversos acontecimentos do cotidiano e os interpretaremos a partir de conceitos da ondulatória. Ainda veremos o quanto esses conhecimentos nos permitem compreender muitas das tecnologias que nos cercam, bem como muitos dos fenômenos naturais que impactam a vida e a existência. Esse é um convite para que você surfe nessas ideias e transforme sua forma de ver o seu entorno.

Consulte no Manual do Professor as orientações, respostas e comentários referentes às atividades e aos conteúdos desta unidade e seus capítulos.

▼ Para começar

1. Como uma impressora com apenas três opções de cores de pigmentos para tintas coloridas, além da cor preta, pode reproduzir milhares de cores?
2. Como a Física revolucionou a Medicina a partir do diagnóstico por imagem?
3. Por que o som de um fone de ouvido dificilmente pode ser percebido quando estamos longe dele, mas ainda assim pode danificar a audição quando o som está alto ou quando o utilizamos por longos períodos?



Olho humano em detalhe, indicando a pupila aberta, que é a entrada de ondas eletromagnéticas vindas do ambiente.

▼ Para refletir

1. Por que primeiro vemos um relâmpago em uma tempestade e só depois ouvimos o barulho do trovão?
2. Por que as lâmpadas brancas atuais são vendidas como sendo “branco frio” e “branco quente”?
3. Precisamos tomar alguns cuidados para que os raios ultravioletas não queimem a pele. Como podemos nos prevenir se não conseguimos enxergar a radiação ultravioleta?

Objetivos do capítulo

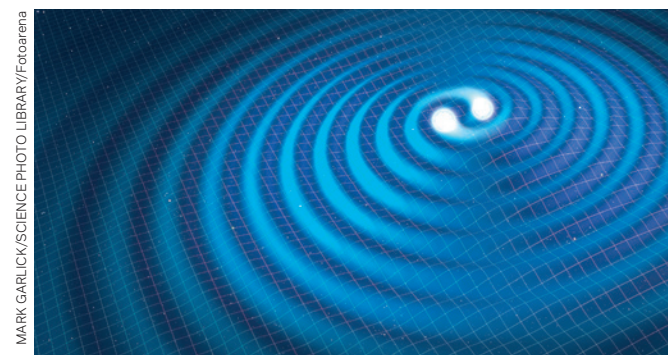
- Apresentar noções fundamentais de ondas, seus tipos e suas implicações.
- Aplicar os fundamentos de ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas em situações cotidianas.
- Analisar funcionamento de aparatos tecnológicos de imagem a partir do conceito de visão cromática.
- Construir um simulacro de *pixel* utilizando um LED.
- Sintetizar as nuances de cor a partir de conceitos fundamentais da ondulatória.

Fundamentos da ondulatória

Um universo que vibra

Olhamos ao redor e vemos objetos que são, macroscopicamente, corpos em repouso. Contudo, ao desenvolvermos instrumentos e ao produzirmos experimentos destinados a análises microscópicas, concluímos: as moléculas de um corpo estão sempre em movimento. Com isso, podemos dizer que vivemos em uma realidade onde tudo oscila, em um universo onde as moléculas, as cargas elétricas, as membranas, e outras entidades físicas estão em constante vai e vem. Por vezes, essas oscilações podem ser transmitidas transferindo energia através de um meio, ou até mesmo no vácuo. Essa transferência de energia caracteriza o que chamamos de **ondas**. Neste capítulo, aprenderemos conceitos fundamentais de ondulatória, explorando tipos e características de ondas para desenvolvermos noções sobre fenômenos naturais cotidianos, como as cores e as ondas do mar, e outros nem tão cotidianos, como as ondas gravitacionais.

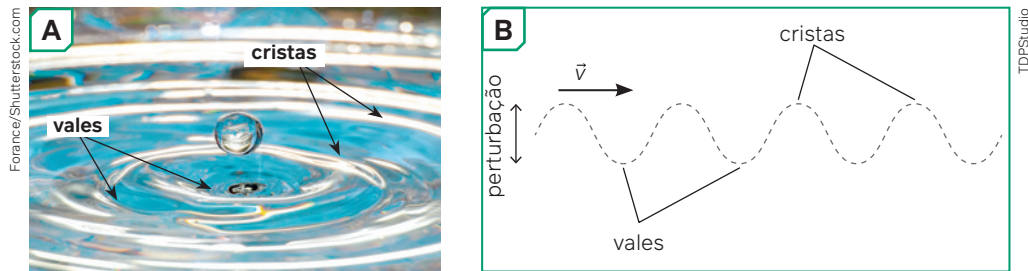
Os tons de cores, as distâncias entre os astros e a proporção entre os seus tamanhos não são as reais. A ilustração está fora de escala.



Representação artística de ondas gravitacionais, indicando um dos tipos mais recentes de onda detectado pela comunidade científica.

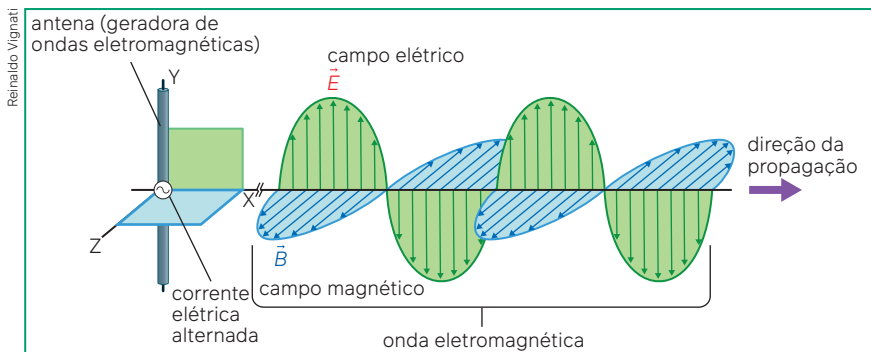
Características das ondas

Se jogarmos uma pequena pedra no centro de um lago de águas em repouso, veremos uma perturbação se formar e se propagar até a borda do lago. Essa perturbação revela as ondas que se propagam pela superfície da água. As ondas em superfícies líquidas são um tipo de onda que precisa de um meio material (a água) para se propagar. Isso porque a energia das ondas formadas em um lago é transferida entre as moléculas da água.



Esquemática simplificada dos elementos característicos das ondas na superfície da água; os picos de vibração são as cristas da onda, e as regiões da vibração que são mais profundas são chamadas de vales das ondas; destaque para a direção horizontal de perturbação da água e a direção vertical de propagação das ondas (horizontal).

Quando ondas transferem energia mecanicamente, ou seja, as colisões e as variações de tensões mecânicas entre moléculas fazem a transferência da energia, temos **ondas mecânicas**. As ondas mecânicas não podem se propagar no vácuo, uma vez que não há moléculas que permitam a transferência de energia. Ondas nas cordas de um violão, ondas sonoras no ar, ondas na água, ondas de um terremoto, são todos casos de ondas mecânicas. No entanto há ondas que podem se propagar no vácuo por meio de perturbações do campo elétrico e do campo magnético no espaço, elas são conhecidas como **ondas eletromagnéticas**. A luz visível, as ondas de *wi-fi*, de *bluetooth*, de rádio e de raios X são casos de ondas eletromagnéticas.



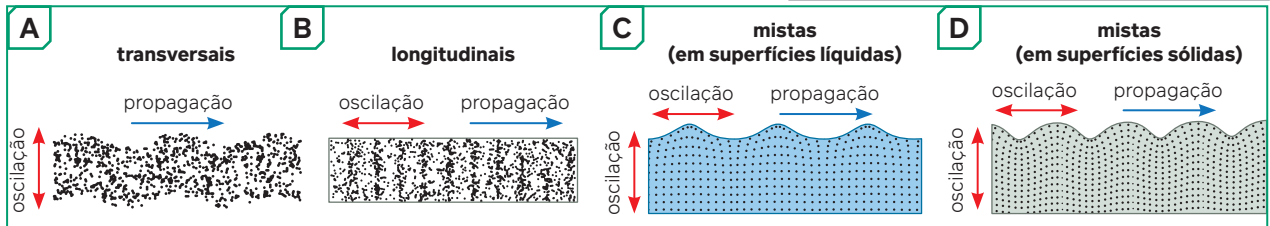
O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Representação esquemática de uma onda eletromagnética gerada pela oscilação de cargas elétricas em uma antena, com destaque para a oscilação do campo elétrico na direção do eixo **Y**, a oscilação do campo magnético na direção do eixo **Z**, e a propagação da onda eletromagnética na direção do eixo **X**.

Uma diferença notável entre as ondas mecânicas e as ondas eletromagnéticas é a possibilidade de as ondas eletromagnéticas se propagarem pelo vácuo, enquanto as ondas mecânicas não. Uma vez que ondas eletromagnéticas são oscilações dos campos elétrico e magnético, não é necessário que exista meio material para que essas oscilações transportem energia.

As ondas eletromagnéticas são sempre **ondas transversais**, ou seja, quando a direção de propagação é perpendicular à direção da perturbação. Já vimos que os campos elétrico e magnético oscilam perpendicularmente à propagação das ondas. Por outro lado, ondas mecânicas podem ser transversais (**A**), como em uma corda que é balançada na vertical e tem ondas que se deslocam na horizontal, mas podem também ser **ondas longitudinais (B)**, como em um alto-falante, que perturba o ar na horizontal e promove ondas que se propagam na horizontal. Existem ainda os casos de **ondas mistas (C, D)**, como as ondas no oceano, que possuem perturbações tanto longitudinais à propagação quanto transversais a elas.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Representação esquemática dos tipos de ondas em relação à perturbação sofrida: ondas transversais (**A**), ondas longitudinais (**B**) e ondas mistas de dois tipos (**C**) e (**D**).

A luz, que é um exemplo de onda eletromagnética muito presente no cotidiano, se propaga no vácuo e possui uma velocidade “c”, que é uma das constantes mais emblemáticas da Física. O valor dessa constante “c” é dado por uma relação que envolve a permeabilidade magnética do vácuo (μ_0) e a permissividade elétrica do vácuo (ϵ_0). Isso significa que a velocidade de propagação da luz só pode ser fisicamente elaborada a partir de características elétricas e magnéticas do meio onde ela se propaga:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

permeabilidade magnética do vácuo
permissividade elétrica do vácuo

A velocidade de propagação c tem o mesmo valor para qualquer onda eletromagnética. Um pulso de raios X se propaga no vácuo com a mesma velocidade que um feixe de luz vermelha ou de luz azul que, por sua vez, se propagam no vácuo com a mesma velocidade que uma onda de internet *wi-fi*. Mais que a velocidade da luz, a constante “c” representa a velocidade de propagação de qualquer onda eletromagnética no vácuo. Essa velocidade é um limite na Física, indicando a maior velocidade que se pode alcançar. Por isso, seu valor é utilizado em uma infinidade de estudos, desde fenômenos astrofísicos e cosmológicos, até fenômenos mais cotidianos, como a transmissão de dados.

Saiba mais

Outro tipo de onda: as ondas gravitacionais

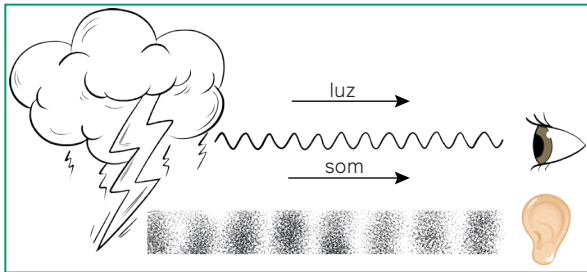
Previstas há mais de um século, mas detectadas apenas em 2016, as **ondas gravitacionais** são um tipo de onda que se propaga no vácuo e que ocorre por distorções no espaço e no tempo em eventos cosmológicos, como uma colisão entre buracos negros. As perturbações gravitacionais que se propagam são um dos mais recentes tipos de ondas detectados pela humanidade.

#FicaADica

O que são ondas gravitacionais?, de Júnior Diniz Toniato (Cadernos de Astronomia – UFES, 2021), é um artigo que traz, de maneira não técnica, diversos conceitos para o entendimento das ondas gravitacionais. Recomendamos a leitura para aprofundar os seus conhecimentos. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/astronomia/article/view/35952>. Acesso em: 22 ago. 2024.

Atividades comentadas

1. As ondas sonoras e luminosas se propagam pelo ar com velocidade aproximadamente constante, porém com valores diferentes para as velocidades de propagação. Em uma tempestade, podemos ver a luz de um relâmpago muito antes de ouvirmos o som do trovão. Explique por que esse fenômeno ocorre.

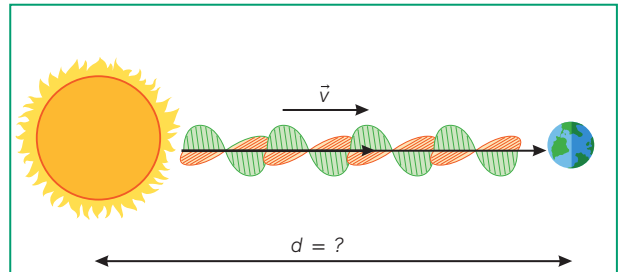


Resolução

As ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com a maior velocidade fisicamente possível. No ar, essa velocidade é bem próxima. Por isso, no caso de um raio, vemos sua luz primeiro, uma vez que a velocidade de propagação das ondas luminosas é muito maior que a velocidade de propagação das ondas sonoras.

2. A luz do Sol leva cerca de 8 minutos para chegar à Terra. Sabendo que luz é onda eletromagnética, e considerando o espaço entre o Sol e a Terra como sendo vácuo, qual é a distância aproximada entre o Sol e o planeta Terra? Considere $v = c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

Resolução



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow c = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$3 \cdot 10^8 = \frac{d}{8 \cdot 60}$$

$$d = 3 \cdot 10^8 \cdot 8 \cdot 60$$

$$d = 1\,440 \cdot 10^8 \text{ m ou } 144\,000\,000 \text{ km}$$

Equação fundamental da ondulatória

Para que o estudo das ondas, mecânicas ou eletromagnéticas, tenha uma caracterização mais completa, devemos conhecer o período e a frequência das ondas.

A **frequência** (f) indica a quantidade de oscilações, em uma unidade de tempo. A frequência é medida em hertz (Hz). Dizer que uma onda tem frequência de 5 Hz significa que temos cinco ondas (ou oscilações) por segundo passando por um ponto de referência. O **período** (T) de um conjunto de ondas indica o tempo necessário para que uma única onda inteira passe por um ponto de referência. No SI, o período é dado em segundos (s).

A unidade 1 Hz pode também ser escrita como o inverso de um segundo: $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$.

Se encontrarmos um aparelho de rádio mais antigo, como o da imagem abaixo, podemos ver indicadas no *dial* do rádio, as frequências de ondas eletromagnéticas que aquele aparelho consegue sintonizar. Para cada faixa de frequências, os valores podem ter unidades de kHz (quilohertz) ou MHz (megahertz).

Podemos construir uma relação matemática entre a frequência de uma onda e sua velocidade de propagação.

Para isso, precisamos da noção de **comprimento de onda**, que geralmente é representado pela letra grega λ (lambda), indicando a medida que se tem entre duas cristas de uma onda na direção da propagação. Quando uma onda se propaga na superfície da água, por exemplo, se suas cristas estão muito distantes, significa que o ciclo de uma onda inteira tem grande comprimento e vice-versa.

Dial de rádio analógico multifaixas. Era utilizado um botão rotativo para variar a frequência de sintonia da rádio em cada uma das faixas, que normalmente eram diferenciadas por cores.



jakkapan/Shutterstock.com



Conjunto de ondas passando por um píer enquanto são observadas por uma pessoa que cronometra o seu tempo de passagem.

A relação entre velocidade, comprimento de onda e frequência é chamada de **equação fundamental da ondulatória**. Muitos fenômenos naturais podem ser explicados considerando-se as grandezas dessa equação. Desde a cor do céu ao amanhecer ou ao meio-dia, os perigos da radiação ultravioleta e ainda o padrão de cores das telas de dispositivos digitais. Em todos esses casos, comprimentos de onda e frequências são grandezas relevantes para que compreendamos os fenômenos.

Se liga

Prefixos do Sistema Internacional de Unidades e suas potências

Os termos quilohertz (kHz = 10^3 Hz), megahertz (MHz = 10^6 Hz) e gigahertz (GHz = 10^9 Hz) são muito utilizados para designar frequências de ondas eletromagnéticas no cotidiano. Para cada prefixo, há uma potência de 10 associada a ele.

Prefixos do Sistema Internacional de Unidades (SI)										
Fator	10^1	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}	10^{21}	10^{24}
Nome	deca	hecto	quilo	mega	giga	tera	peta	exa	zetta	yotta
Símbolo	da	h	k	M	G	T	P	E	Z	Y
Fator	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}
Nome	deci	centi	mili	micro	nano	pico	femto	atto	zepto	yocto
Símbolo	d	c	m	μ	n	p	f	a	z	y

Fonte: MUNIZ, S. R. Prefixos do SI (Sistema Internacional de Unidades). *E-Disciplinas USP*, São Paulo, [20--?]. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1118013/mod_resource/content/0/PrefixosSI%2BNotacaoCientifica.pdf. Acesso em: 22 ago. 2024.

Atividades comentadas

1. Considere, para efeito de simplificação, que as ondas sonoras se propaguem no ar com uma velocidade de 300 m/s. Comparando, no ar, um som **A** com frequência de 100 Hz e um som **B** com frequência de 3000 Hz, podemos afirmar que:
 - a) o som **A** tem menor comprimento de onda.
 - b) o som **A** tem menor velocidade.
 - c) o som **B** tem maior velocidade.
 - d) o som **B** tem menor comprimento de onda.
 - e) ambos os sons possuem o mesmo comprimento e a mesma velocidade.

Resolução

Como a velocidade das ondas sonoras no ar é a mesma para qualquer frequência, temos o comprimento de onda inversamente proporcional à frequência, por causa da equação fundamental da ondulatória $v = \lambda \cdot f$. Logo, o som de maior frequência possui menor comprimento de onda e vice-versa. Por isso, o som **B**, de frequência 3000 Hz, possui menor comprimento de onda.

Alternativa **d**.

2. Em um campeonato de surfe, o narrador avisou que as séries de onda estavam chegando e indicou que o intervalo de tempo entre uma onda e a outra era de 2 minutos. Considerando que a distância entre duas ondas era de 360 metros, determine:
- O período de propagação dessas ondas.
 - A velocidade com a qual as ondas se deslocavam na superfície do mar.

Resolução

- a) O período corresponde ao tempo entre duas ondas consecutivas. Logo, o período de propagação dessas ondas é de 2 min ou 120 s.
- b) A propagação das ondas no mar também ocorre segundo a equação fundamental da ondulatória $v = \lambda \cdot f$. Uma vez que a frequência é o inverso do período, podemos escrever $v = \frac{\lambda}{T}$. Como a distância entre duas ondas sequenciais é de 360 m, $\lambda = 360$ m. Com isso $v = \frac{\lambda}{T} = 360/120 = 3,0$ m/s.

Atividades propostas

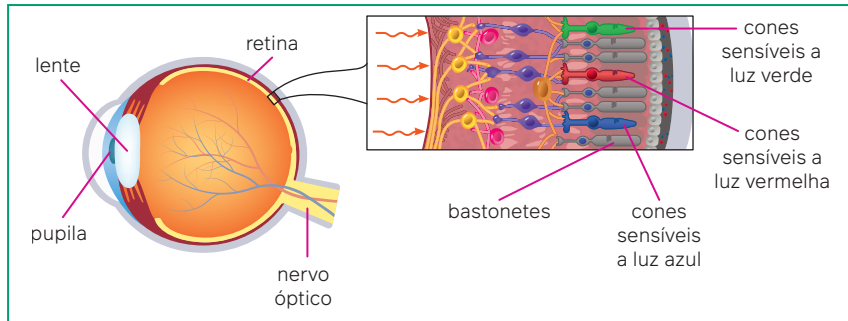


- Qual das alternativas a seguir apresenta um exemplo de onda eletromagnética?
 - Onda em uma corda de violão.
 - Onda de raios X.
 - Onda em que um surfista surfa.
 - Ondas sonoras.
 - Ondas de um terremoto.
- Uma estação de rádio FM emite ondas com frequência de 100 MHz. Qual é o comprimento das ondas emitidas por essa estação de rádio, sabendo que a velocidade das ondas eletromagnéticas no ar é $c = 3 \cdot 10^8$ m/s?
 - 1 m
 - 2 m
 - 3 m
 - 4 m
 - 5 m
- A ponta de um galho de árvore balança tocando a superfície das águas de um lago duas vezes por segundo. Essa perturbação promove ondas que se propagam pela superfície do lago, afastadas 0,2 m umas das outras. Qual é a velocidade que essas ondas se propagam no lago?
- Torcedores em um estádio de futebol fazem uma série de ondas humanas, chamadas de *ola*. As ondas da *ola* são geradas a cada dois segundos e viajam pela arquibancada com velocidade de 25 m/s. Qual é a distância entre duas cristas de *olas* consecutivas?
 - 10 m
 - 20 m
 - 30 m
 - 40 m
 - 50 m
- Ondas mecânicas podem ser transversais ou longitudinais. Assinale a alternativa que contém um caso de ondas longitudinais.
 - Ondas geradas em uma corda esticada.
 - Ondas geradas por abalos sísmicos.
 - Ondas geradas por um estouro de balão de festas.
 - Ondas que se propagam na superfície da água.
 - Ondas luminosas.
- Um *tsunami* é uma onda que pode ser gerada por um terremoto no fundo do oceano. Para efeitos de simplificação, podemos pensar que a perturbação sísmica no fundo pode erguer verticalmente uma massa de água que, por sua vez, transfere energia para ondas que se deslocam horizontalmente pelos oceanos profundos com grandes velocidades. As ondas de um *tsunami*, conforme descritas, são melhor caracterizadas como sendo:
 - eletromagnéticas e longitudinais.
 - eletromagnéticas e transversais.
 - mecânicas e longitudinais.
 - mecânicas e transversais.
 - mecânicas e eletromagnéticas.

Visão cromática

Percepção das cores

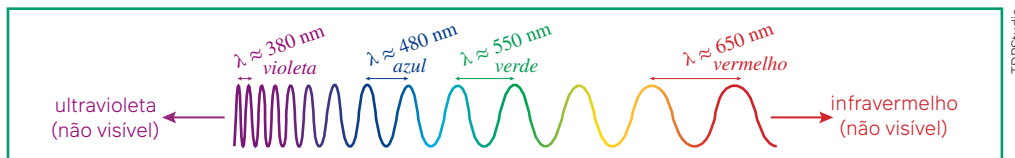
Olhamos ao redor e não é difícil nos depararmos com telas de dispositivos digitais, como televisores, celulares, tablets ou outros. As imagens coloridas nas telas são produzidas a partir da percepção que temos das cores. Chegando na retina, a luz sensibiliza as células responsáveis pela detecção de variações de intensidade luminosa, chamadas de **bastonetes**, e as células responsáveis por detectar a frequência, ou seja, a “cor” da luz, chamadas de **cones**.



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Representação esquemática do sistema visual, com destaque para o tecido da retina, onde estão localizados os cones e os bastonetes.

Cada cor que vemos corresponde a um comprimento de onda específico e carrega uma energia específica. Por isso, quando pensamos nas células do tipo cone, há um conjunto de células que são mais sensíveis às ondas luminosas de comprimento perto de 480 nm, e isso significa que esses cones são mais sensíveis à luz de cor azul. Da mesma forma, existem cones com maior sensibilidade ao verde (550 nm) e cones com sensibilidade maior ao vermelho (650 nm).



Representação do espectro visível com destaque aos valores dos comprimentos de onda correspondentes às cores vermelha, verde, azul e violeta.

O espectro visível ao olho humano compreende a faixa que vai das ondas eletromagnéticas cujo comprimento de onda e frequência são equivalentes à cor vermelha, até as ondas de comprimento e frequência equivalentes ao violeta. Cores com frequência acima da registrada pelo violeta são chamadas de ondas ultravioleta; e cores com frequência abaixo do vermelho são infravermelhas. O olho humano não é capaz de detectar luz ultravioleta, que algumas abelhas e insetos enxergam, nem infravermelha, visível para certos morcegos e cobras. Isso demonstra que a percepção de cores varia entre as espécies, sendo moldada ao longo da evolução de cada uma delas.

Espaço RGB de cor

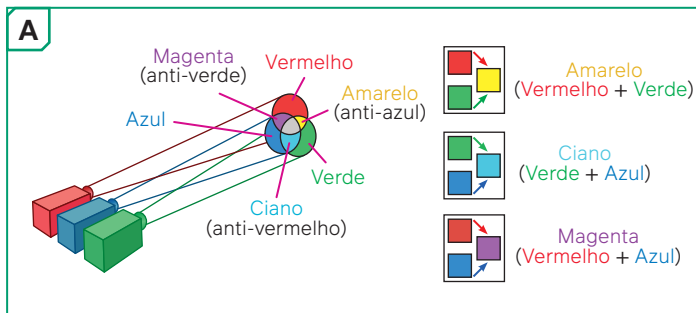
A retina possui três tipos de cones, cada um sensível ao vermelho, verde e azul, mas conseguimos enxergar uma vasta gama de cores e tons que vão muito além dessas três cores primárias, incluindo marrom, laranja, amarelo, violeta, bege, e muitas outras. Mas como podemos enxergar a cor rosa se a retina não possui células sensíveis ao rosa?

A resposta para essas perguntas está na combinação de estímulos de diferentes cones, que resulta na percepção de novas cores. Combinando luzes vermelha, verde e azul, criar uma ampla variedade de cores, incluindo o amarelo e o rosa. Isso porque o que interpretamos é a soma dos três estímulos. Então, se tivermos intensidades diferentes nas três cores, o cérebro interpreta outras cores. A esse processo damos o nome de teoria do triestímulo ou do estímulo triplo das cores. Um termo muito usado para representar essa teoria é o termo RGB, das iniciais em língua inglesa *red*, *green* e *blue*, indicando **vermelho**, **verde** e **azul**.

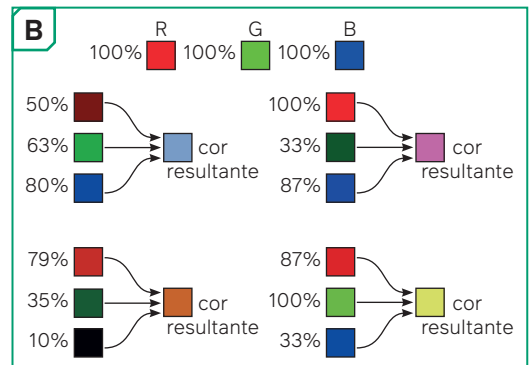
Uma forma de demonstrar esse efeito é tomarmos três refletores com luzes de cores **vermelho**, **verde** e **azul** (A). A sobreposição das três cores-luz nos dá a cor branca. Mas em regiões onde a luz azul não ilumina, temos a cor **amarela**. Da mesma forma, em regiões onde a luz verde não ilumina, temos o **magenta**, e em regiões onde a luz vermelha não ilumina, temos a cor **ciano**. Podemos, inclusive, nos referir à cor amarela como sendo aquela na qual o azul é ausente: o amarelo é “antiazul”. De modo semelhante, a cor magenta é “antiverde” e a cor ciano é “antivermelho”.

Mas o que aconteceria se pudéssemos controlar a intensidade de cada cor? **(B)** Algo como um refletor com 50% de potência na luz vermelha, outro com 80% da potência na luz azul e outro com 63% da potência na luz verde?

Da mesma maneira, os *pixels* da tela de um telefone celular ou de uma televisão combinam LEDs de três cores RGB e variam a intensidade de cada um desses LEDs para obter, em cada um dos milhões de *pixels*, a cor desejada.



Representação do espaço de cor com as cores-luz primárias (vermelho, verde e azul) e as secundárias (ciano, amarelo e magenta) a partir de refletores de cores diferentes, à esquerda; e esquematizando os pares que formam amarelo (vermelho + verde), ciano (verde + azul) e magenta (vermelho + azul), à direita.



Exemplo de diferentes cores resultantes da variação da intensidade de três holofotes nas cores típicas do espaço RGB.

Atividades comentadas

1. Explique por que as tintas coloridas de impressora são das cores ciano, magenta e amarelo e não das cores vermelho, verde e azul.

Resolução

As tintas de impressora não emitem luz própria. Por isso, uma vez impressas em papel branco, que reflete todas as cores, o ciano é a tinta que receberá luz branca e absorverá o vermelho; o magenta é a tinta que absorve verde, e o amarelo é a tinta que absorve azul. Se sobrepujarmos ciano com amarelo, teremos vermelho e azul absorvidos, sobrando apenas o verde. Da mesma forma, a tinta ciano (“antivermelho”) com a tinta magenta (“antiverde”) produzirá a cor azul.

2. Considere os dados da tabela a seguir, que traz algumas cores e seus respectivos comprimentos de onda no vácuo:

Cor	Comprimento de onda (λ)
Violeta	380 – 450 nm
Azul	450 – 495 nm
Verde	495 – 570 nm
Amarelo	570 – 590 nm
Laranja	590 – 620 nm
Vermelho	620 – 750 nm

Podemos afirmar que:

- a) a velocidade da luz de cor violeta, no vácuo, é maior que a velocidade da luz vermelha.
- b) o comprimento de onda do ultravioleta é maior que o comprimento de onda do infravermelho.
- c) as luzes de cores laranja e amarelo são ondas eletromagnéticas que possuem a mesma frequência.
- d) no vácuo, a luz de cor vermelha se desloca com menor velocidade que a luz de cor laranja.
- e) a frequência da cor azul é maior que a frequência da cor laranja.

Resolução

Toda onda eletromagnética, no vácuo, se desloca com a mesma velocidade “c”, por isso as alternativas **a** e **d** estão incorretas.

Como no vácuo toda radiação eletromagnética possui velocidade “c”, a radiação de menor comprimento de onda (azul) tem maior frequência que as outras.

Alternativa **e**.

3. Explorando um exoplaneta, uma sonda espacial hipotética descobriu vegetação com folhagem amarela. Visto que a estrela que iluminava o exoplaneta emitia luz branca, qual é a cor da luz absorvida por aquelas plantas para produção de sua fotossíntese?

Resolução

Quando iluminada por luz branca, parte do espectro será absorvido e parte do espectro será refletido. Por isso, se a folha reflete luz amarela, significa que está refletindo luz vermelha e verde, sem reflexão do azul. Isso significa que o espectro azul foi absorvido pelas folhas da planta.

Analisando um LED RGB

Objetivos

- Avaliar o funcionamento de um LED RGB, com diferentes intensidades luminosas em cada uma das cores.
- Relacionar o espaço de cor RGB com o resultado observado.
- Verificar previsão de cores de um *pixel* em situação experimental.
- Explicar, a partir das cores-luz primárias, a percepção de cores-luz secundárias.

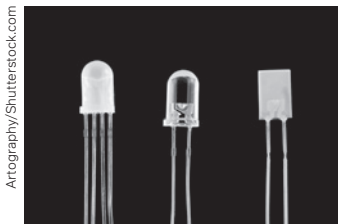
Material:

- um LED de 5 mm, do tipo RGB com ânodo comum;
- três potenciômetros do tipo linear de 50 k Ω ;
- uma bateria de 9 V;
- dois resistores de 100 Ω e um resistor de 150 Ω ;
- fios para uso genérico (pode ser fio de telefone antigo);
- ferro de solda e estanho (caso disponível, uma placa de protótipos pode ser utilizada sem a necessidade de solda).

Atenção!

Não se pode ligar os LEDs sem os resistores, pois seus emissores serão queimados.

led 5 mm RGB



Artography/Shutterstock.com

potenciômetros de 50 k Ω



Oasisihf/Shutterstock.com

resistores de 100 Ω e um de 150 Ω



Heym20/Shutterstock.com

ShutterFatur/Shutterstock.com

ferro de solda, estanho



Prayogii997/Shutterstock.com


bateria de 9 V



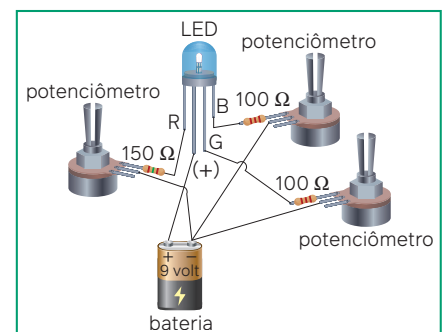
Nigel Stripe/Shutterstock.com

Componentes de baixo custo para montagem de experimento com LED de três cores primárias.

Procedimento

1. Conecte os resistores a um polo lateral do potenciômetro.
2. Conecte cada resistor a uma perna do LED, destinando o resistor de 150 Ω ao polo do LED correspondente ao vermelho, e os dois resistores de 100 Ω , aos polos correspondentes ao verde e ao azul.
3. Conecte os polos centrais dos potenciômetros ao polo negativo da bateria.
4. Conecte o polo positivo da bateria à perna mais longa do LED.
5. Após conectar os componentes, explore com seus colegas os diferentes brilhos das cores do LED. Comece girando todos os potenciômetros até que o LED se apague. 
6. Depois gire apenas um potenciômetro e avalie a cor emitida.
7. Repita o processo acionando uma cor de cada vez até se familiarizar com as cores e seus respectivos potenciômetros.
8. Acione apenas duas cores e avalie a cor resultante.
9. Encontre as intensidades necessárias para que o LED emita cor de tonalidade laranja e discuta com seus colegas acerca da combinação utilizada.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Ericson Guilherme

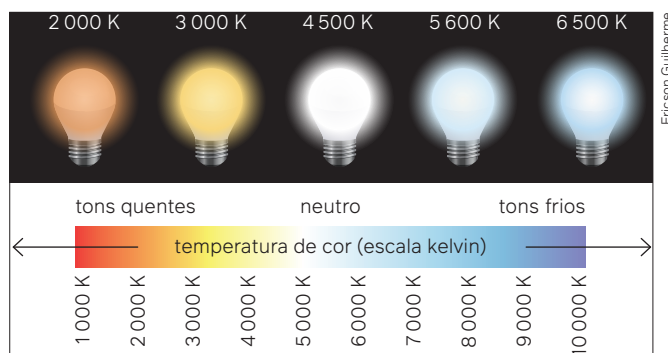
Esquema de conexão entre fios, resistores, potenciômetros, LED e bateria para execução de experimento com LED de três cores primárias.

Trocando ideias

1. Apoiado no que você aprendeu neste capítulo até agora, avalie o comprimento de onda de cada uma das cores do LED.
2. Explique o que as cores de dois potenciômetros juntos, sem um terceiro, representam?
3. Produza um argumento amparado no que você aprendeu até agora para explicar como uma tela de celular pode emitir milhões de cores diferentes utilizando apenas três cores.

Temperatura de cor

Todo corpo que esteja à temperatura acima do zero absoluto emite radiação própria, mesmo que não visível. A partir de algumas temperaturas mais altas, os corpos emitem radiação própria na forma de luz visível. Isso acontece, por exemplo, quando uma barra de ferro é aquecida em uma fogueira por muito tempo, fazendo com que seja possível observar que uma luz avermelhada começa a ser emitida. Se a barra for mantida por mais tempo na chama, uma luz mais alaranjada será emitida. Se a barra continuar na chama, uma luz azulada poderá ser vista. Isso indica que a emissão de radiação pelos corpos tem tonalidades de cor, ou seja, picos de frequência da radiação diferentes para cada temperatura.



Exemplos de diferentes lâmpadas brancas com tonalidades mais avermelhadas e mais azuladas indicando diferentes temperaturas de cor (acima) e régua do espectro visível apontando maiores temperaturas de cor para o branco azulado e menor temperatura de cor para o branco avermelhado.

Embora encontremos em lojas de luminárias anúncios indicando uma associação de lâmpadas brancas com tom mais amarelado a “branco quente” e lâmpadas brancas com tom mais azulado a “branco frio”, fisicamente, o que acontece é o contrário: luz azulada indica maior temperatura de cor e luz avermelhada indica menor, como pode ser observado nos dados do quadro a seguir.

Quadro comparativo com faixas de temperaturas de cor e fontes luminosas que tipicamente emitem branco com as respectivas temperaturas			
Temperatura de cor	Fonte luminosa	Temperatura de cor	Fonte luminosa
1 000 – 2 000 K	Luz de vela	5 000 – 5 500 K	Flash de câmera fotográfica
2 500 – 3 500 K	Lâmpada de tungstênio	5 000 – 6 500 K	Luz do dia com céu claro
3 000 – 4 000 K	Nascer do Sol e pôr do Sol	6 500 – 8 000 K	Luz com céu levemente nublado
4 000 – 5 000 K	Lâmpadas fluorescentes	9 000 – 10 000 K	Luz com céu carregado de nuvens

Fonte: THE KELVIN Temperature Scale. *Slade Knowledge Base*, [s. l.], [2018?]. Disponível em: <https://www.ucl.ac.uk/slade/know/746>. Acesso em: 22 ago. 2024.

Mas de onde viria essa confusão? Possivelmente a origem dessa diferença se deve ao fato de as fontes de luz branca com tons mais avermelhados também emitirem mais radiação infravermelha. A radiação infravermelha é sentida na pele como “radiação de calor”, uma vez que nos aquece facilmente. Já a luz branca com tons azulados possui pico de radiação mais próximo do azul e, por isso, mais distante da faixa do infravermelho. Mas isso não muda o fato de que tons azulados possuem maior temperatura de cor.

A temperatura de cor é dada em kelvin (K), mas isso não significa que uma lâmpada que emite luz branca com tonalidade azulada, de 6 000 K, esteja à temperatura de 6 000 K. A unidade kelvin vem do modelo teórico da radiação do corpo negro, que relaciona a radiação emitida com a temperatura do corpo. Corpos negros são cavidades hipotéticas com pequenas aberturas por onde a radiação pode entrar ou sair, e o pico de energia dessa radiação é determinada pelo espectro emitido e, com isso, a cor das ondas eletromagnéticas emitidas também é mais próxima do azul (maior energia) quanto maior for a temperatura indicada no modelo teórico.

O conceito de temperatura de cor tem grande importância no ajuste de iluminação para cinema e fotografia. A figura a seguir indica a diferença de tonalidade de cor com diferentes temperaturas de cor utilizadas.



Cada foto foi iluminada por brancos com diferentes temperaturas de cor: (A), próximo dos 3 000 K, (B), próximo dos 4 200 K e (C), próximo aos 6 400 K.

Câmeras fotográficas profissionais e mesmo alguns aparelhos de celular possuem a capacidade de corrigir o chamado **balanço de branco**, neutralizando os tons muito avermelhados de lâmpadas de 2 700 K, como as incandescentes, ou os tons muito azulados de lâmpadas de 6 500 K, como as fluorescentes, mostrando a necessidade do conhecimento de Física para obtenção de expressões artísticas específicas.

Atividades propostas



1. A luz branca emitida por uma lâmpada incandescente, em comparação à luz branca emitida por uma lâmpada fluorescente,
 - a) é mais branca.
 - b) é mais azulada.
 - c) é mais amarelada.
 - d) é mais esverdeada.
 - e) não possui diferença.
2. Explique, utilizando o espaço de cor RGB, como é possível enxergarmos a cor cinza.
3. Duas estrelas são observadas pelas lentes de um telescópio. Uma estrela se apresenta mais avermelhada e outra mais azulada. O que se pode afirmar sobre a temperatura dessas estrelas e por quê?
4. As diferentes intensidades das cores-luz primárias nos permitem enxergar outras cores. Isso acontece porque:
 - a) é um efeito psicológico.
 - b) a retina humana tem um único tipo de fotorreceptor sensível a diferentes cores.
 - c) diferentes células, com diferentes sensibilidades de cor, combinam a informação levada ao cérebro.
 - d) a imagem na retina humana é monocromática e um processo químico colore o que vemos.
 - e) as células da retina modificam as cores da luz que chegam até ela, promovendo a percepção das cores.

Recapitule

Construa um mapa de ideias em seu caderno e inclua os seguintes conceitos: frequência, comprimento de onda, período, velocidade de propagação, onda mecânica, onda eletromagnética, RGB, ciano, magenta, amarelo e temperatura de cor.

Agora, voltando às questões do box **Para refletir** da abertura do capítulo, como você responderia a cada uma delas?

Indo além, como você responderia às seguintes questões:

1. Por que as diferentes fontes luminosas emitem diferentes cores?
2. Por que a luz se propaga no vácuo, mesmo não havendo meio material para se propagar?

Ondas, música e sistema auditivo

Anton Gvozdkov/Shutterstock.com



Sistemas de sonorização são utilizados para reforçar o som dos instrumentos musicais e da voz em um grande show ao ar livre.

▼ Para refletir

1. Por que os tambores de uma bateria são de tamanhos diferentes?
2. Os morcegos ouvem os mesmos sons que os seres humanos?
3. É possível reconhecer a voz de três parentes próximos que estiverem cantando a mesma música? Por quê?

Objetivos do capítulo

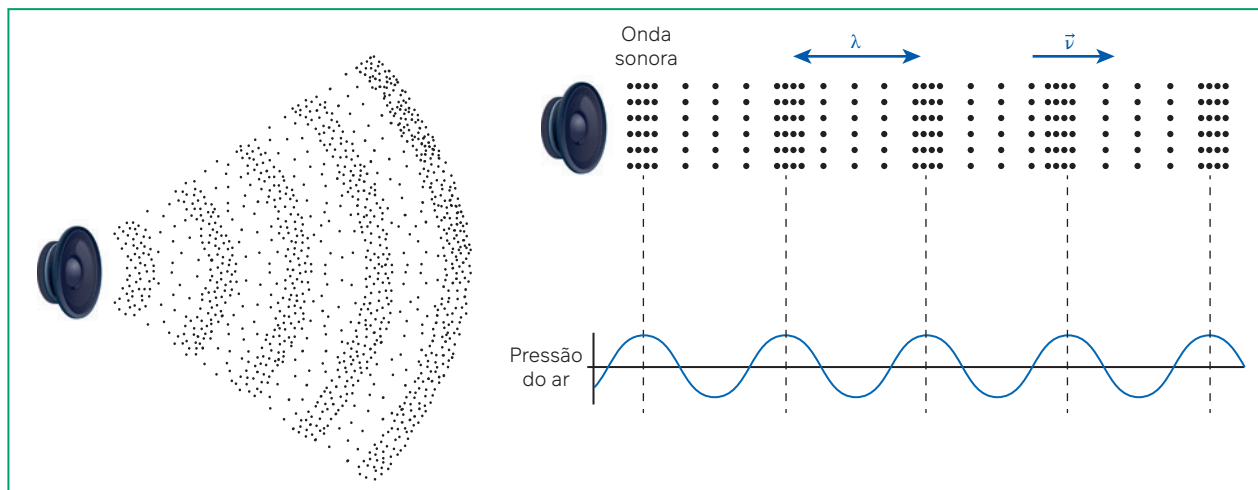
- Discutir as características ondulatórias do som.
- Aplicar noções de acústica em diferentes contextos.
- Analisar fenômenos acústicos em cenários cotidianos.
- Avaliar aspectos comunicacionais do som e riscos à audição.

O som das coisas

A onda sonora

A música nos move. Sons de instrumentos variados vindos de diferentes lugares são capazes de nos animar, de nos fazer pensar, de nos deixar nostálgicos. Mas até que consigamos ouvir sons, energia mecânica é transmitida por moléculas do ar, perturbando o ambiente de modo que, mesmo sem ver, percebemos nos ouvidos e na pele essa sensação. As ondas sonoras são variações de pressão no ar ou em outro meio de propagação. Quando falamos, quando tocamos um violão ou quando um fone de ouvido emite sons, temos sempre algum mecanismo que faz a pressão no ar variar. Zonas de ar mais rarefeito e zonas de ar mais pressurizado são as características marcantes das ondas sonoras.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Representação de um alto falante emitindo ondas sonoras (à esquerda) com destaque para o perfil da onda a partir do distanciamento médio entre as moléculas, o comprimento de onda e a velocidade de propagação (direita acima) e a variação de pressão do ar (direita abaixo).

Velocidades de propagação do som

Como as ondas sonoras são longitudinais, o que significa que as vibrações ocorrem na mesma direção da propagação da onda, o comprimento de onda é medido de uma zona de compressão do ar até a zona de compressão seguinte. Um alto falante, por exemplo, promove essas zonas vibrando sua membrana e empurrando o ar para frente e para trás, gerando a perturbação que se propaga. Essa perturbação, no ar, se desloca com velocidade de aproximadamente $v_{\text{som}} = 343 \text{ m/s}$ (a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), podendo variar a depender da temperatura e da composição do ar. Generalizando, a velocidade de propagação de uma onda qualquer é determinada pelas características do meio de propagação, o mesmo acontece com o som. A velocidade do som varia com a temperatura porque o movimento das partículas do meio (como o ar) se torna mais rápido com o aumento da temperatura, facilitando a propagação das ondas sonoras.

Saiba mais

Velocidades do som no ar a diferentes temperaturas

Diferentes temperaturas do ar fazem com que o som se propague em diferentes velocidades. A seguir, na tabela, indicamos as diferentes velocidades de propagação do som no ar em função de sua temperatura.

Temperatura θ ($^\circ\text{C}$)	Velocidade do som v (m/s)
0	331,4
5	334,4
10	337,4
15	340,4
20	343,3
25	346,3
30	349,1
40	354,7
50	360,3

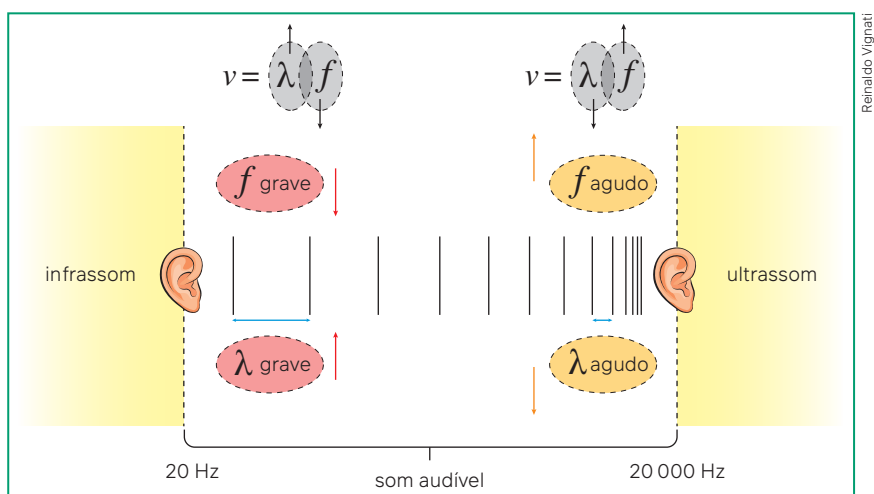
Fonte: HAYNES, W. M. (ed.). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Flórida: CRC Press, 2014. p. 14-50.

Características do som

Som grave e som agudo

Conhecemos pessoas que têm voz mais grossa e pessoas que têm voz mais fina; mas do ponto de vista científico, o que significa isso? Quando emitimos sons com a voz, conseguimos controlar a frequência do som emitido. É isso que nos permite cantar melodias. É a frequência do som que determina a nota musical tocada ou cantada. Por isso, é o controle da frequência da voz que nos permite indicar a prosódia da fala (o canto da fala) e que imprime intenções e emoções na comunicação.

Graves e agudos são termos utilizados para nos referirmos à frequência do som: as vozes mais grossas são identificadas com seu som grave e as vozes mais finas são aquelas com som mais agudo, que emitem ondas de frequência mais alta. A frequência mínima que o ouvido humano detecta é próxima a 20 Hz e os sons mais agudos audíveis são sons de frequência 20 000 Hz.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Representação esquemática do espectro audível desde a frequência mínima até a frequência máxima detectável pelo ouvido humano, com destaque para as relações inversas entre frequência e comprimento de onda e com indicativo das faixas de frequência inaudíveis do ultrassom e do infrassom.

Dizemos que um som é mais baixo quando sua frequência é mais baixa, ou seja, quando o som é mais grave. Mantendo a relação $v = \lambda f$, temos sons mais graves com maior comprimento de onda e sons mais altos, ou seja, mais agudos, com menor comprimento de onda.

Se liga

Som baixo e som alto não significa diferença de volume

A frequência do som é dada em Hz. Identificamos sons graves e sons agudos pelo valor de sua frequência. Por isso, utilizando um aplicativo genérico de afinador de violão, disponível para celular, podemos medir a frequência das diferentes vozes.

No cotidiano, é comum usarmos o termo “som baixo” para nos referirmos a pequenos volumes da televisão ou dos fones de ouvido. Mas de um modo um pouco mais técnico, som baixo significa som grave, por causa da baixa frequência, e som alto significa som agudo, por causa da alta frequência. Basta lembrarmos que, em uma orquestra, o instrumento musical chamado contrabaixo é aquele que emite som mais grave, mais grosso, de menor frequência.

Aplicativo de afinação de violão e guitarra, em tela de *smartphone*, indicando a nota musical e a frequência, permitindo que a frequência da fala possa ser medida.



Atividades comentadas

1. Golfinhos podem emitir sons de baixíssimas frequências (abaixo de 1 Hz) e sons de altíssima frequência (acima de 100 000 Hz). Considere um golfinho que se comunica com outro emitindo um som de frequência de 30 000 Hz. Sabendo que na água o som se propaga com velocidade de 1 500 m/s, o som que o golfinho emitiu é:

- a) ultrassônico audível ao ser humano.
- b) infrassônico audível ao ser humano.
- c) ultrassônico inaudível ao ser humano.
- d) infrassônico inaudível ao ser humano.
- e) ultrassônico inaudível a qualquer ser vivo.

Resolução

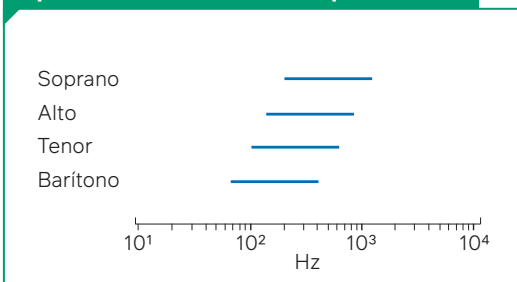
Dado que o ouvido humano percebe sons de frequências entre 20 Hz e 20 000 Hz, o som emitido pelo golfinho é ultrassônico, uma vez que tem frequência maior que 20 000 Hz. Visto que não somos capazes de perceber sons ultrassônicos, esse ruído seria inaudível ao ser humano.

Resposta: alternativa **c**.

2. Diferentes saxofones operam em diferentes frequências, conforme indicado na figura.



Tipos de saxofones e frequências



Com base no gráfico apresentado, podemos verificar que, em média, os sons emitidos no ar pelo saxofone barítono comparados aos sons emitidos pelo saxofone soprano possuem

- a) maior comprimento de onda.
- b) menor comprimento de onda.
- c) maior velocidade.
- d) menor velocidade.
- e) mesma frequência.

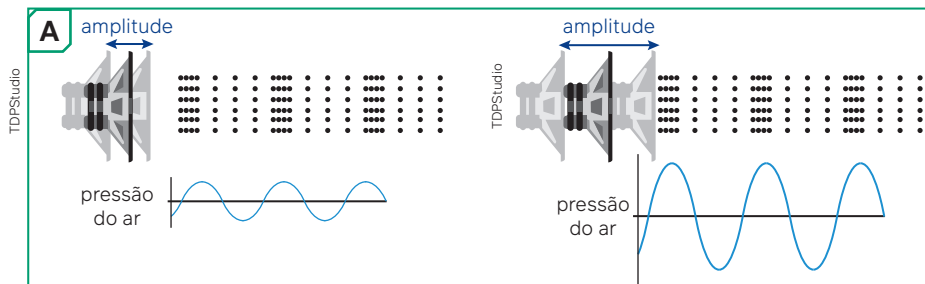
Resolução

O gráfico indica que a faixa de frequências dos sons emitidos pelo sax barítono está abaixo da faixa do sax alto. Dessa forma, o sax barítono emite sons mais graves, logo de menor frequência e de maior comprimento de onda. Quanto à velocidade, como todos os sons são comparados no ar, em um mesmo meio, tem-se a mesma velocidade de propagação do som.

Resposta: alternativa **a**.

Amplitude, intensidade e nível de intensidade

Outra característica do som é que um alto falante pode vibrar para frente e para trás deslocando-se muito ou pouco em relação a sua posição de repouso. Em qualquer movimento oscilatório, esse deslocamento é chamado de **amplitude (A)**. No caso do movimento do alto falante, a amplitude não determina nem a frequência nem o comprimento de onda nem tampouco a velocidade de propagação do som. A amplitude está relacionada à energia que o som carrega. E essa energia transportada está ligada à nossa sensação de som forte e som fraco.

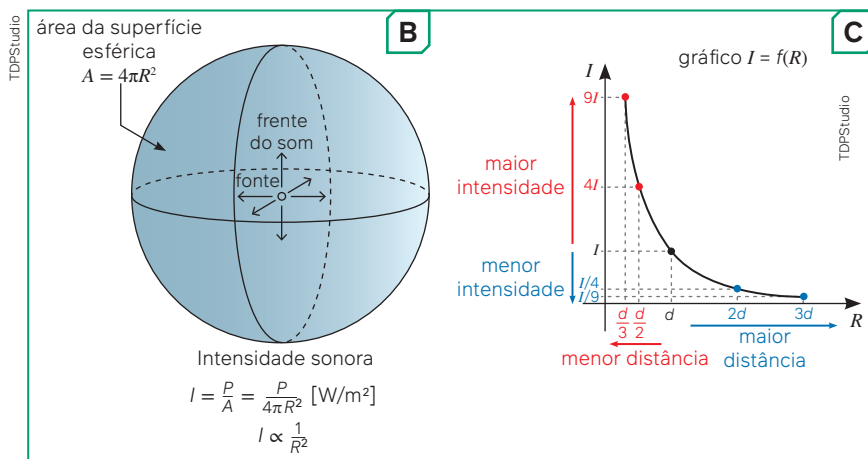


Representação de alto falantes emitindo ondas sonoras e vibrando com diferentes amplitudes, indicando que quanto maior a amplitude da vibração, maior será a diferença entre as pressões máxima e mínima da onda sonora.

Representações simplificadas em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Há uma curiosidade em relação à amplitude do som e à nossa sensação de som forte ou som fraco. Podemos ter sons de grande amplitude e ainda assim os ouvirmos bem fracamente. Ou podemos ter sons de pequena amplitude e os ouvirmos tão intensamente, que podem danificar nossos ouvidos.

Para determinarmos a intensidade do som que ouvimos é necessário avaliarmos a concentração dessa energia a cada segundo (potência, em watts) na área que o som atravessa quando se propaga em m^2 (B). A essa relação de potência do som concentrada em uma área específica chamamos intensidade sonora (C).



Em (B), geometria da propagação esférica de uma onda sonora que parte de uma fonte de som pontiforme com indicativo da área da superfície esférica e equação da intensidade sonora para essa simetria. Em (C), gráfico representativo da intensidade do som I em função da distância R , fora de escala, indicando em azul que com o aumento da distância, a intensidade diminui rapidamente, e em rosa que com a diminuição da distância, a intensidade sonora aumenta rapidamente.

Quando falamos em som muito forte ou som muito fraco, não usamos cotidianamente as medidas de intensidade. O que costumamos usar são medidas em **decibel**, que representam o **nível da intensidade sonora**. Essa unidade deriva da unidade **bel (B)**, que homenageia Alexander Graham Bell (1847–1922), cientista britânico e inventor do telefone. Da mesma forma que nos referimos a decímetro para 1/10 de metro, também falamos decibel para 1/10 de bel; mas o que significa 1 bel? Para entendermos essa medida, precisamos entender os limites da audição humana.

O sistema auditivo humano não é capaz de perceber sons de intensidade menor que $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Esse é o som mais fraco perceptível. Um som com intensidade dez vezes maior que I_0 é um som que tem nível igual a um bel (1 B) ou 10 decibéis (10 dB). Um som com intensidade cem vezes maior que I_0 é um som que tem nível igual a dois bels (2 B) ou 20 decibéis (20 dB). Mil vezes, implica nível igual a 3 bels (3 B) ou 30 decibéis (30 dB). Com isso, a escala de bels é uma escala logarítmica:

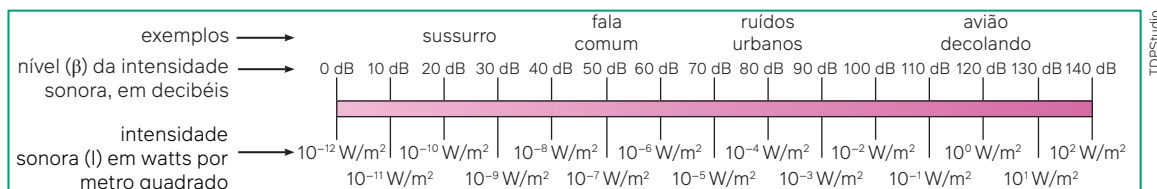
$$\begin{aligned} 10 \text{ vezes } I_0 &\Rightarrow 1 \text{ B} = 10 \text{ dB} \\ 100 \text{ vezes } I_0 &\Rightarrow 2 \text{ B} = 20 \text{ dB} \\ 1000 \text{ vezes } I_0 &\Rightarrow 3 \text{ B} = 30 \text{ dB} \\ 10\,000 \text{ vezes } I_0 &\Rightarrow 4 \text{ B} = 40 \text{ dB} \end{aligned}$$

O cálculo do nível de intensidade sonora pode ser feito para qualquer valor de I , usando uma equação logarítmica:

$$\begin{aligned} \beta &= \log \frac{I}{I_0} \text{ [B]} \\ \beta &= 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ [dB]} \\ \text{onde: } I_0 &= 10^{-12} \text{ [W/m}^2\text{]} \end{aligned}$$

Atividades comentadas

1. A exposição a grandes intensidades do som, vindas de diferentes fontes sonoras, determina nossa saúde auditiva. A tabela a seguir mostra valores de intensidade sonora e de níveis de intensidade sonora para alguns exemplos de som a que somos expostos:



Com base nas informações da tabela, podemos dizer que:

- o som da fala é um milhão de vezes mais intenso que o som do sussurro.
- o som dos ruídos urbanos é um milhão de vezes mais intenso que o som do sussurro.
- o som de um avião decolando é um milhão de vezes mais intenso que o som do sussurro.
- o som de um sussurro não é audível.
- o som da fala é mais intenso que o som dos ruídos urbanos.

Resolução

Observando as intensidades sonoras referentes a cada exemplo, temos o ruído urbano com intensidade de $I = 10^{-4}$ W/m² e o sussurro com intensidade de $I = 10^{-10}$ W/m². Como $10^{-4}/10^{-10} = 10^6$, temos os ruídos urbanos um milhão de vezes mais intensos que os sussurros.

O item **a** não serve à questão, pois da intensidade de 20 dB (10^{-10} W/m²) para a intensidade de 50 dB (10^{-7} W/m²) tem-se uma mudança de mil vezes a intensidade sonora. O item **c** também não serve à questão, pois a intensidade sonora de um avião decolando é 120 dB (100 W/m²) e isso representa dez bilhões de vezes a intensidade de um sussurro de 20 dB (10^{-10} W/m²). Descartamos o item **d**, pois o sussurro é audível uma vez que tem intensidade maior que I_0 ; e o item **e** visto que a fala, também indicada na régua, é menos intensa que os ruídos urbanos.

Resposta: alternativa **b**.

2. Um fone de ouvido intra-auricular tem potência de 0,01 W. Mal ouvimos o som desse fone se o tiramos do canal auditivo, mas, quando está dentro do canal auditivo, toda essa potência é concentrada numa área de 10 mm², ou seja, 10^{-5} m². Sobre o som desse fone intra-auricular, faça o que se pede:

- determine a intensidade sonora recebida pelo tímpano.

Resolução

A intensidade é a relação entre a potência do som e a área onde ele se concentra:

$$I = \frac{pot}{A} \Rightarrow I = \frac{0,01}{10^{-5}} \Rightarrow I = \frac{10^{-2}}{10^{-5}} \therefore I = 10^3 \text{ W/m}^2$$

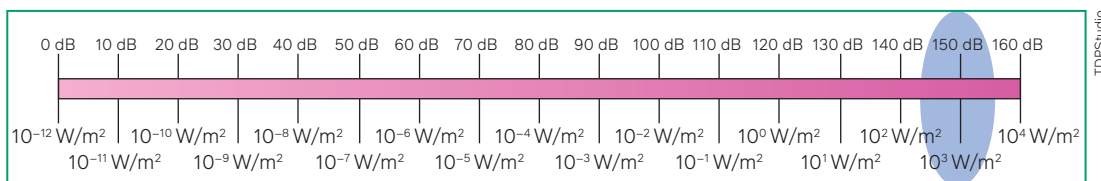
- considerando a mínima intensidade audível como sendo 10^{-12} W/m², determine, em dB, o nível dessa intensidade sonora.

Resolução

O nível da intensidade sonora em dB é dado por $\beta = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.

$$\text{Logo, } \beta = 10 \log\left(\frac{10^3}{10^{-12}}\right) \Rightarrow \beta = 10 \log(10^{15}) \therefore \beta = 150 \text{ dB.}$$

Uma resolução alternativa pode ser feita comparando potência a potência de 10:



- explique porque um aparelho de potência tão baixa pode representar risco à audição.

Resolução

O uso de fones de ouvido representa um perigo à audição porque, uma vez colocados dentro do canal auditivo, a potência de seus alto falantes, mesmo sendo baixa, é muito concentrada em uma área muito pequena, elevando a intensidade sonora e o nível de intensidade a valores excessivamente altos para a audição humana.

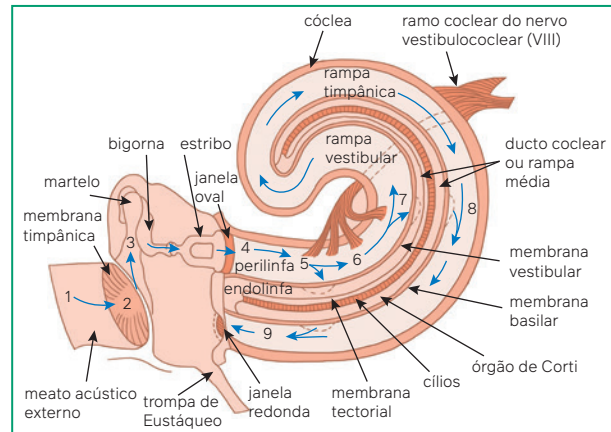
Saiba mais

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Um longo caminho do som até nossa interpretação

Até interpretarmos uma música ou a fala de alguém, o som percorre um longo caminho. A energia das ondas sonoras vibra nossos tímpanos que ficam ao final do canal auditivo; mas é dali para a frente que o som passa por diversas etapas de transferência de energia, de acordo com a figura

A energia de vibração do tímpano é transmitida pelo conjunto dos três menores ossos do nosso corpo, os ossículos: martelo, bigorna e estribo. O estribo vibra a janela oval, e essa vibração é transferida para dentro da cóclea, onde cada frequência do som que chega é detectada por uma região diferente. Ali, células ciliares são vibradas e transmitem pulsos elétricos ao nervo vestibulococlear, para que nosso cérebro possa processar a informação.



Representação das estruturas da orelha humana.

Fonte: OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. *Física para ciências biológicas e biomédicas*. São Paulo: Harbra, 1986. p. 233. Adaptado.

Reinaldo Vignati

Ciência por fora



Fones de ouvido e riscos à saúde

Uso excessivo de fones de ouvido pode causar danos auditivos

Seja para relaxar, estudar, por diversão ou para ter privacidade, o uso de fones de ouvido está cada vez mais frequente no cotidiano das pessoas. No entanto, é preciso considerar que essa comodidade pode prejudicar a saúde. Uma estimativa da Organização Mundial de Saúde mostra que cerca de 5% das perdas de audição no Brasil, aproximadamente 1,5 milhão de pessoas, estão relacionadas à utilização indevida do fone de ouvido.

A pesquisa mostrou ainda que a maioria dessas pessoas é jovem e que poderia ter evitado o problema com a redução do uso do equipamento. Cecília Maria Santos, de apenas 17 anos, utiliza o fone de ouvido diariamente. Antes, o volume era o mais alto possível. Após a reclamação da mãe, a jovem diminuiu o volume e a regularidade com que usava o equipamento. “Sempre usava o fone no volume mais alto. Até quem estava ao redor ouvia. O que me fez deixar o fone de lado foi que comecei a não ter mais atenção para as coisas e também comecei a sentir muita dor de cabeça. Quando diminuí, parou”, disse a jovem.

Outro dado da Organização Mundial de Saúde indica que usar fones de ouvidos por mais de 90 minutos por dia pode aumentar a chance de zumbido ou perda da audição em um período de até cinco anos, isso se for utilizado o volume de médio a alto. Caso o volume esteja no máximo, esta estimativa pode aumentar em 70%. A OMS estima também que em países de baixa renda aproximadamente 50% das pessoas entre 12 e 35 anos escutam música alta de forma prejudicial para a saúde.

Para o otorrinolaringologista Nelson D’Ávila, o excesso é o que prejudica a saúde. “O fone de ouvido é prejudicial por estar muito próximo ao canal auditivo. Mesmo assim, o que mais faz mal é o volume elevado por muito tempo. A prevenção deve ser constante. Atualmente, os fones dos aparelhos eletrônicos como os de MP3 e celulares chegam entre 100 ou 110 decibéis, quando o ideal é de no máximo 80 decibéis. Quanto menor o volume do fone, maior será a chance de ter uma audição cada vez mais saudável, principalmente em longo prazo”, disse o especialista. [...]

SERGIPE. *Uso excessivo de fones de ouvido pode causar danos auditivos*. Sergipe: SES/SE. 26 jul. 2017. Disponível em: <https://saude.se.gov.br/uso-excessivo-de-fones-de-ouvido-pode-causar-danos-auditivos>. Acesso em: 2 set. de 2024.

Trocando ideias



1. Considerando a popularização do trabalho remoto, como você projetaria, para os próximos 50 anos, o problema dos danos à audição na população do mundo?
2. Fones externos e fones internos representam o mesmo risco?
3. Quantas horas por dia você usa fones de ouvido e qual é o volume médio, de zero a 100% que você costuma utilizar?

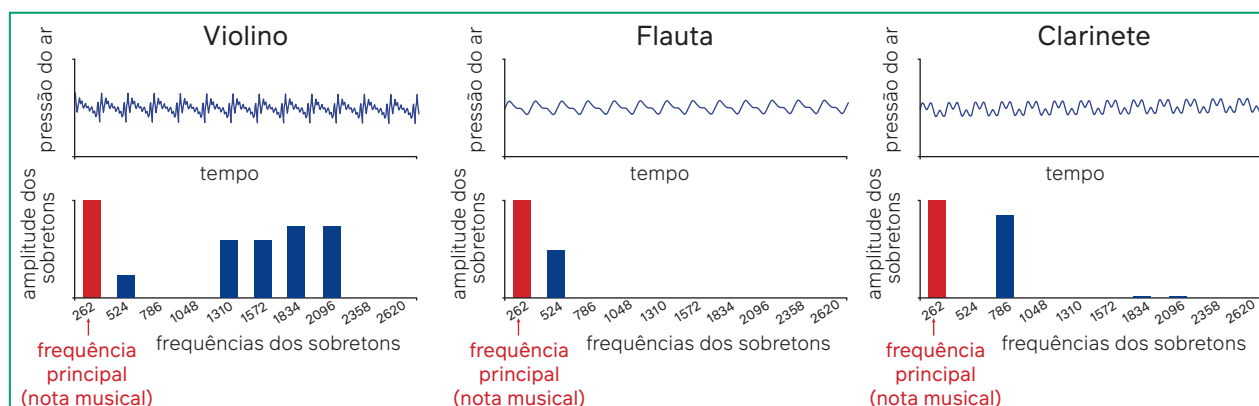


- A medida de 1 dB representa:
 - um valor de potência sonora.
 - um valor de intensidade sonora.
 - um valor de frequência sonora.
 - um valor de comprimento de onda.
 - um valor de nível de intensidade sonora.
- Tsunamis* são acontecimentos da natureza com grande potencial destrutivo. Em alto mar, as ondas de um *tsunami* viajam a grandes velocidades e possuem longo período. Reporta-se que ondas de *tsunami* em alto mar se deslocam com velocidades de 200 m/s ou superiores. O período dessas ondas pode chegar a 400 s ou mais. Considerando um *tsunami* com os valores de frequência e período mencionados, podemos dizer que suas ondas:
 - são de comprimento de onda menor que 10 m.
 - são de comprimento de onda maior que 10 km.
 - são ultrassônicas, de frequência maior que 100 000 Hz.
 - são ultrassônicas, de frequência menor que 0,001 Hz.
 - são ondas eletromagnéticas.
- Uma caixa de som tem potência de 36 W e pode ser considerada uma fonte sonora puntiforme. Que intensidade sonora será ouvida se uma pessoa estiver à distância de 2 m dessa caixa de som? (para efeito de cálculos, considere $\pi = 3$).
- Considere um pequeno alto falante de potência 1 W. Uma pessoa ouve o som desse alto falante à distância de 1 m dele. Se a pessoa se afastar para a distância de 100 m dele, a intensidade do som que ela ouve:
 - aumentará 100 vezes.
 - diminuirá 100 vezes.
 - aumentará 10 000 vezes.
 - diminuirá 10 000 vezes.
 - não se alterará.

Timbre: a identidade sonora

Quando diferentes instrumentos emitem sons de mesma frequência e mesma intensidade, ainda assim podemos identificar o instrumento emissor. Isso porque cada onda emitida por cada instrumento (violão, voz, bateria, piano etc.) tem um perfil único, chamado de timbre. O timbre que nos permite saber quem chama nosso nome, mesmo sem olhar para a pessoa, pois o timbre da voz de cada pessoa é diferente.

Essa característica única de cada onda, identificando seu instrumento emissor é o que chamamos de **timbre** do som. Essa característica das ondas sonoras envolve nossa percepção, ou seja, reconhecemos sons porque percebemos diferenças. Também podemos identificar aspectos objetivos da Física dessas ondas para entender no que elas se diferem quando percebemos diferenças. Do ponto de vista da ondulatória, o timbre pode ser caracterizado pela identificação de ondas sobrepostas, chamadas de **sobretons**, e que têm frequência como múltiplos da onda principal.



Análise espectral da mesma nota musical, o Dó 4 com 262 Hz, tocada por três instrumentos diferentes. Na parte superior está a variação de pressão do ar em função do tempo e na parte inferior a medida das amplitudes dos sobretons da onda principal.

Quanto mais aveludado um som nos parece, menos sobretons a onda possui. É o caso de uma flauta doce soando. Quanto mais áspero ou arranhado um som nos parece, mais sobretons a onda possui. É o caso do som de um violino, rico em harmônicos sobretons da onda principal.

Outra possibilidade do timbre é a produção de biometria vocal. Da mesma forma que o reconhecimento facial permite identificar uma pessoa, o reconhecimento de um indivíduo pode ser feito em função da especificidade do timbre de sua voz.

Outros fenômenos ondulatórios

Instrumentos musicais de cordas

Quando prestamos atenção à música popular brasileira, em estilos como samba, bossa nova, MPB, forró e outros, vemos de modo marcante a presença de violões, cavaquinhos, bandolins e outros instrumentos que se popularizaram no Brasil devido à influência ibérica da colonização dos últimos cinco séculos.

Numa orquestra filarmônica, o piano, o violino e o violoncelo são instrumentos musicais presentes. Há uma característica que todos esses instrumentos têm em comum: todos eles emitem sons a partir da vibração de cordas. Em um piano, as cordas se diferem tanto em relação a seus comprimentos quanto em relação a seu peso por metro: cordas das notas mais graves, que emitem som de menor frequência, são de maior densidade linear e de maior comprimento, enquanto as cordas das notas mais agudas, que emitem som de maior frequência, são mais curtas e mais leves (figura a seguir).



Natalia Kisanova/Shutterstock.com



dymaxfoto/Shutterstock.com

À esquerda, um piano com suas teclas e suas cordas de diferentes comprimentos e densidades lineares; à direita, um violão com suas cordas tendo o mesmo comprimento, mas densidades lineares diferentes.

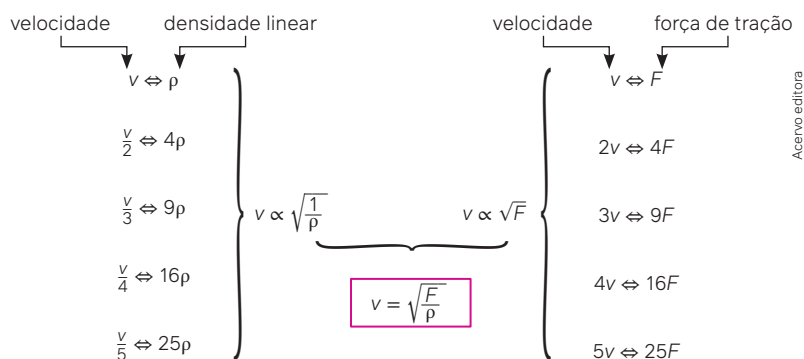
Em um violão, o comprimento das seis cordas é o mesmo; mas elas possuem diferentes pesos por metro e a tensão de cada uma pode ser ajustada. O que se quer em um instrumento de cordas é que a corda vibre em uma frequência pré-determinada, ou seja, que emita som de uma nota musical específica.

Define-se a densidade linear de uma corda (ρ) como a massa da corda (m) por unidade de comprimento (l).

$$\rho = \frac{m}{l} \text{ [kg/m]}$$

As ondas que se propagam em uma corda esticada têm sua velocidade de propagação dependente da densidade linear (ρ) da corda. Mas essa relação não é linear: para as mesmas condições, em cordas 4 vezes mais “pesadas”, a velocidade da propagação se reduz à metade; em cordas 9 vezes mais “pesadas”, a velocidade da propagação se reduz a um terço; isso indica que a velocidade de propagação das ondas em uma corda (v) é proporcional ao inverso da raiz quadrada da densidade linear da corda.

As relações entre variáveis para a velocidade de propagação das ondas em cordas esticadas: à esquerda, a dependência da densidade linear; à direita a dependência da força de tração; ao centro, a equação da velocidade de propagação nas cordas.

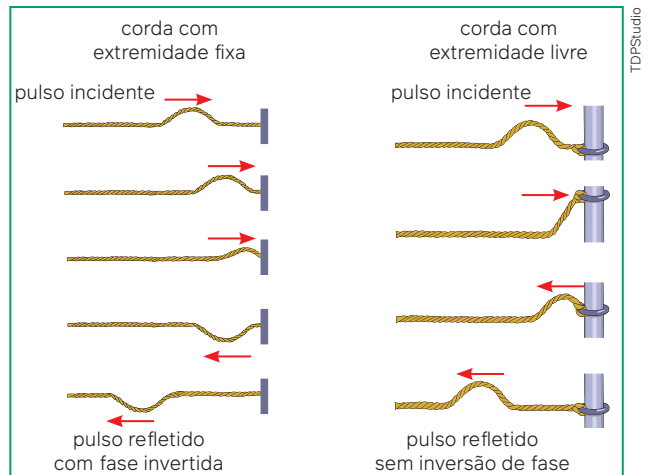


De modo parecido, a força de tração na corda também influencia a velocidade de propagação das ondas, mas a proporcionalidade é diferente. Quando a força de tração quadruplica, a velocidade de propagação dobra. Quando a força de tração duplica, a velocidade de propagação das ondas na corda triplica.

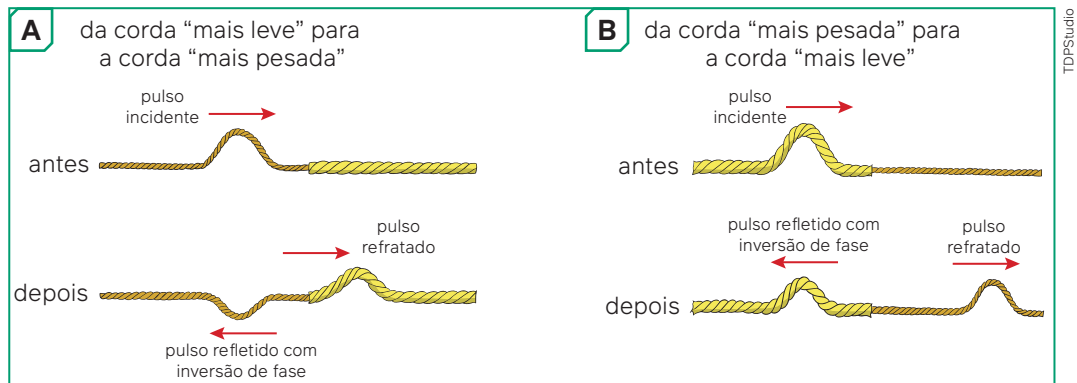
Reflexão e refração de ondas em cordas

Quando falamos de ondas em cordas, ocorre o fenômeno da reflexão, mas não como a luz em um espelho. Uma onda chegando ao final de uma corda esticada será refletida de volta, mas o “final da corda esticada” pode estar fixo (como uma corda presa à parede) ou livre (como uma corda presa a uma argola que pode subir ou descer), fazendo as ondas se refletirem invertendo a fase ou não, conforme indicado na figura.

Representação dos dois tipos de reflexão de ondas em cordas: corda com extremidade fixa, onda refletida com inversão de fase; corda com extremidade livre, onda refletida sem inversão de fase.



Outro fenômeno das ondas se propagando em cordas esticadas é a mudança de uma corda para outra, que chamamos de refração das ondas. Uma vez que cordas podem ter diferentes densidades lineares, a velocidade da onda muda ao se refratar (passar para a outra corda); mas nem toda a energia de uma onda incidente é transmitida para outra corda. Parte da energia é refletida e, para essa onda refletida, podemos ter **(A)** inversão de fase, quando a onda passa da corda mais leve para a corda mais pesada, ou **(B)** reflexão sem inversão de fase, quando a onda passa da corda mais pesada para a corda mais leve.



Refração de ondas em cordas em dois casos: quando a onda vem de uma corda com menor densidade linear e encontra uma corda com maior densidade linear **(A)** e quando a onda vem de uma corda com maior densidade linear e encontra uma corda com menor densidade linear **(B)**.

Saiba mais

O estalo de um chicote pode atingir velocidades supersônicas

Quando um chicote estala no ar, um rápido deslocamento de energia ocorre para as moléculas do ar em volta da ponta do aparato. O fenômeno da refração das ondas explica o ocorrido: com a diminuição da densidade linear do chicote na ponta, ocorre um aumento da velocidade de propagação da onda gerada no cabo. Essa velocidade pode chegar a valores próximos a 400 m/s (1 440 km/h), superiores à velocidade de propagação do som no ar.

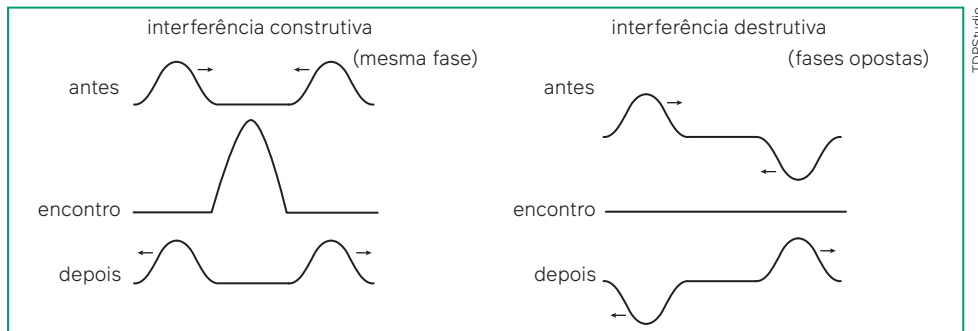
Chicote de couro enrolado indicando diminuição da densidade linear em regiões mais próximas à ponta.



Moises Fernandez Acosta/Shutterstock.com

Interferência de ondas

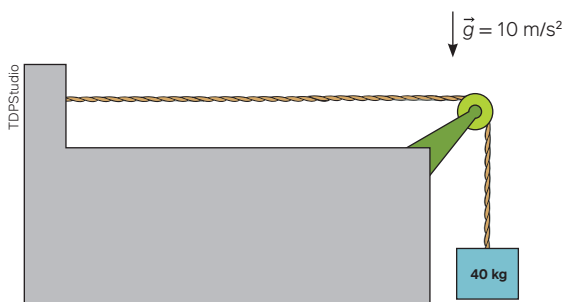
O encontro de duas ondas em uma corda promove uma superposição dos pulsos de onda que chamamos de interferência (figura a seguir). Se dois pulsos possuem a mesma fase, ocorre uma interferência construtiva e as ondas somam suas amplitudes. Se dois pulsos possuem fases opostas, ocorre uma interferência destrutiva e os pulsos se cancelam.



Representação de uma interferência construtiva (à esquerda) e uma interferência destrutiva (à direita) de ondas em uma corda.

Atividades propostas

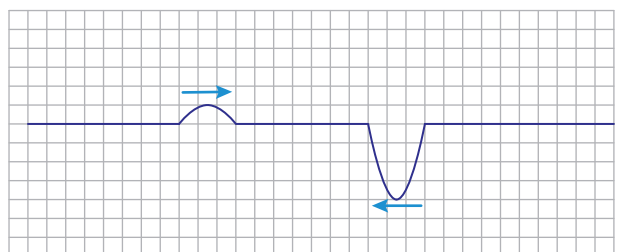
- Uma corda possui densidade linear de $0,2 \text{ kg/m}$. Para medir 300 m dessa corda podemos usar uma balança:
 - que indique 20 kg da corda.
 - que indique 40 kg da corda.
 - que indique 60 kg da corda.
 - que indique 80 kg da corda.
 - que indique 100 kg da corda.
- Para testar a qualidade de uma corda de piano, é necessário verificar a velocidade de propagação das ondas na corda. Em um teste desses, uma corda de densidade $0,01 \text{ kg/m}$ foi presa a um corpo de 40 kg , num local onde a aceleração da gravidade vale $g = 10 \text{ m/s}^2$, conforme a figura:



Na corda indicada na figura, as ondas viajam com velocidade:

- 50 m/s .
 - 100 m/s .
 - 200 m/s .
 - 300 m/s .
 - 500 m/s .
- Duas ondas em uma corda se deslocam em sentidos opostos com fases e amplitudes diferentes, conforme indicado na figura a seguir.

Assinale a alternativa que representa o desenho da interferência entre as duas ondas no instante em que elas se sobrepõem:

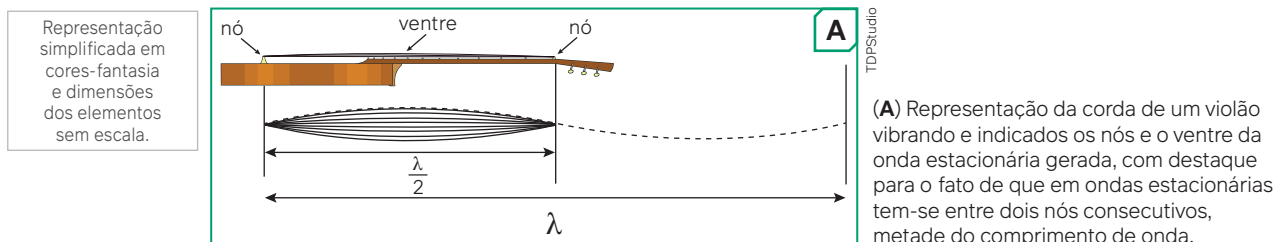


- Graph showing a single negative pulse.
- Graph showing a single positive pulse.
- Graph showing a single larger negative pulse.
- Graph showing a single larger positive pulse.
- Graph showing a single positive pulse.

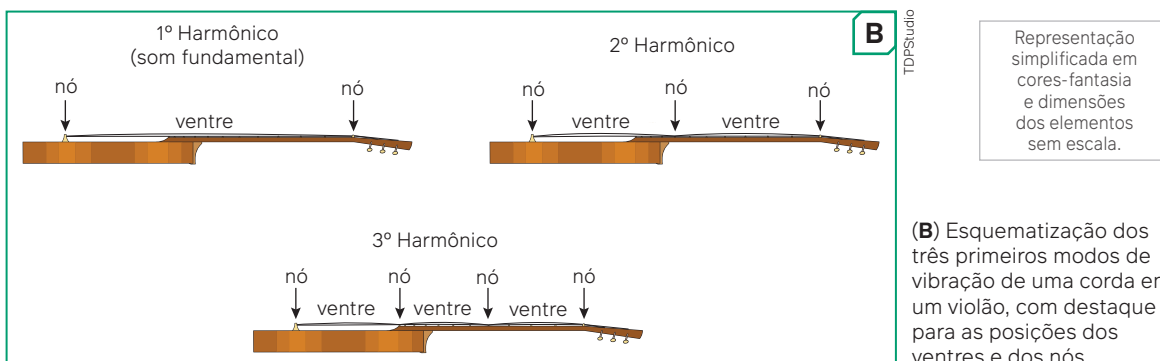
Ondas estacionárias

Cordas vibrantes

Caso tenhamos uma corda presa nas duas extremidades, se balançarmos um ponto da corda, ondas se deslocam para um lado e para outro, refletindo-se com inversão de fase e sofrendo interferências nos pontos de encontro. Isso produz um padrão de vibração que costumamos ver nos instrumentos musicais de cordas, chamado de **onda estacionária**. A corda de um violão, por exemplo, vibra estando fixa entre dois pontos que chamamos de **nós** da onda estacionária. Já a parte da corda que vibra ao máximo quando a tocamos é chamada de **ventre** da onda estacionária **(A)**.



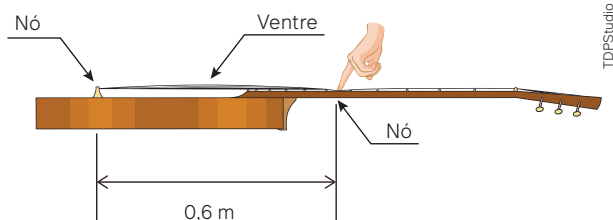
Esse modo de vibração da corda é chamado de som fundamental ou harmônico fundamental. Isso porque é possível promover modos diferentes de vibração na corda, gerando harmônicos de ordem superior: segundo harmônico, terceiro harmônico etc. **(B)**.



Os modos de vibração de ordens superiores não são comumente utilizados na execução de músicas em um violão. Alguns instrumentistas mais experientes conseguem fazer uso desses modos. Entretanto, a mesma forma de estudar os harmônicos nas cordas permite o estudo de alguns temas de outras áreas da Física, como a Mecânica Quântica e a Eletrônica.

Atividades comentadas

- Uma pessoa segura uma corda de violão em uma posição tal que a onda estacionária gerada tem a distância de 0,6 m entre dois nós consecutivos, conforme a figura a seguir.



Sabendo que nesta corda, as ondas se deslocam com velocidade de 480 m/s, determine:

- o comprimento de onda dessa onda estacionária.

Resolução: como a distância entre dois nós representa metade do comprimento de onda, temos:

$$\frac{\lambda}{2} = 0,6 \Rightarrow \lambda = 2 \cdot 0,6 \therefore \lambda = 1,2 \text{ m}$$

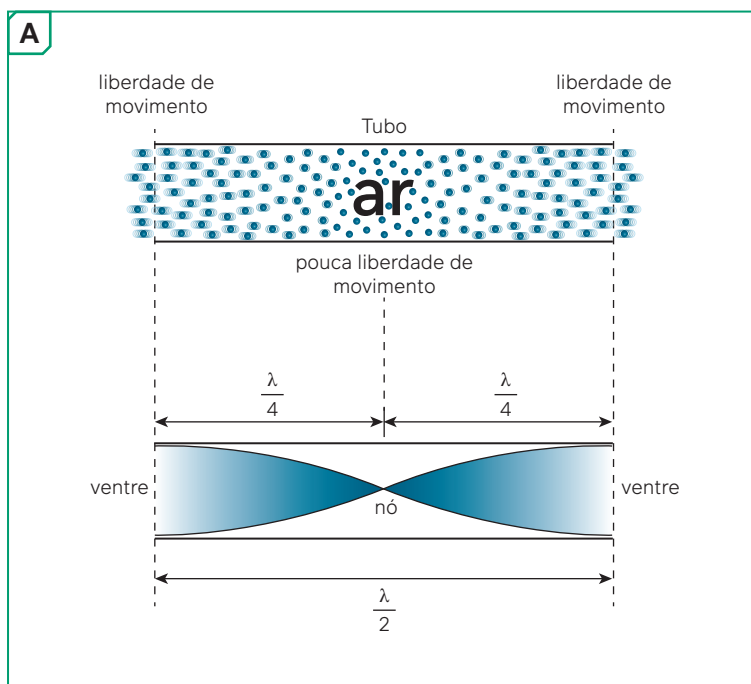
- a frequência de vibração da corda.

Resolução: a frequência de vibração da corda se relaciona ao comprimento de onda e à velocidade de propagação das ondas:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow 480 = 1,2 \cdot f \Rightarrow f = \frac{480}{1,2} \therefore f = 400 \text{ Hz}$$

Tubos sonoros

Quando ouvimos uma flauta, uma corneta ou mesmo um tambor, estamos ouvindo um som que é emitido pela vibração das moléculas de ar dentro de um tubo. Devido ao constante movimento das moléculas de ar, tubos também podem promover ondas estacionárias. Pensaremos nas ondas estacionárias em tubos de modo semelhante às ondas estacionárias em cordas (ventres e nós) mas com algumas diferenças: quem vibra é o ar **(A)**.



Reinaldo Vignati

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

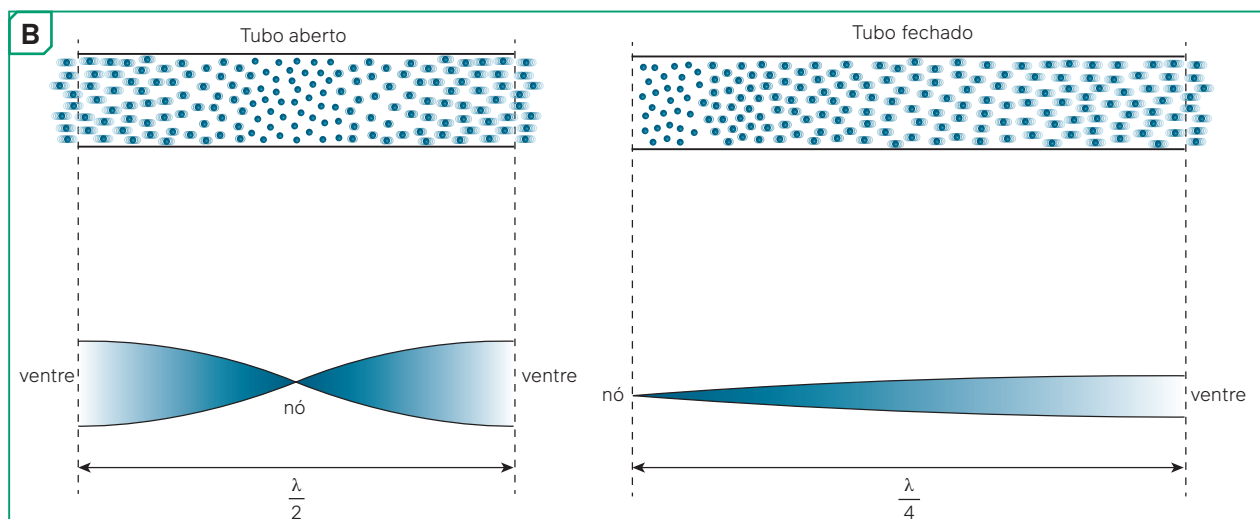
(A) Indicação de um tubo com ar e o modo de vibração fundamental, tendo as moléculas nas bocas do tubo com grande liberdade de movimento, o que indica um ventre de vibração; e as moléculas no centro do tubo com pouca liberdade de movimento, o que indica um nó de vibração.

O caso mais fundamental de ondas estacionárias em um tubo é o caso do harmônico fundamental: um modo de vibração no qual três regiões são bem definidas: nas bocas, vibração intensa do ar e no centro, ar com pouca vibração **(A)**. Se você aproximar sua orelha de um tubo, ou mesmo usando a sua mão simulando um tubo, você poderá ouvir o som das vibrações de ondas estacionárias nesse tubo. Por isso, conseguimos produzir sons que se parecem assobios, assoprando a boca de uma garrafa aberta ou assoprando uma pequena tampa de caneta. Ao assoprarmos uma flauta, estamos reforçando a vibração do ar nesses tubos.

As flautas mais simples e antigas são puramente tubos de comprimentos diferentes. Esses tubos podem ser abertos dos dois lados ou fechados em um dos lados. O simples fato de se fechar o tubo em um dos lados muda o padrão de vibração do ar dentro dele, pois a parede em uma das bocas impede que o ar ali vibre **(B)**.



Carrusel de imagens
Ondulatória e etnomúsica

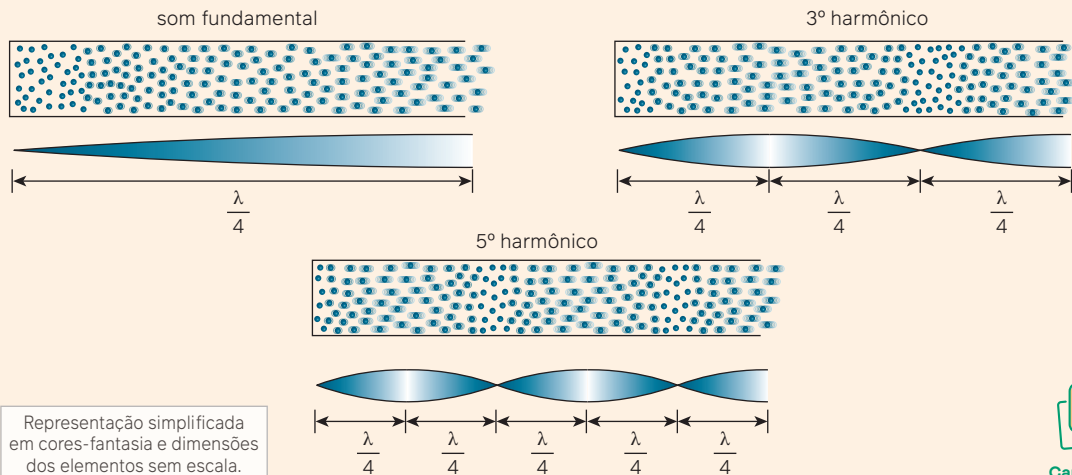


Reinaldo Vignati

Comparação do modo fundamental em um tubo aberto e em um tubo fechado em um dos lados.

Tubos fechados

Tubos fechados de um dos lados não configuram harmônicos de ordem par, pois se duplicarmos o desenho do primeiro harmônico em um tubo fechado, teremos um nó na boca do tubo; isso é impossível porque os nós indicam ar com pouco movimento e na boca do tubo o ar sempre terá muito movimento. Por isso, só se formam modos ímpares em tubos fechados num dos lados: 1º harmônico, 3º harmônico, 5º harmônico etc., de acordo com as imagens a seguir.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Representação dos três primeiros modos de vibração em um tubo fechado em um dos lados, mostrando que somente modos ímpares são configurados.

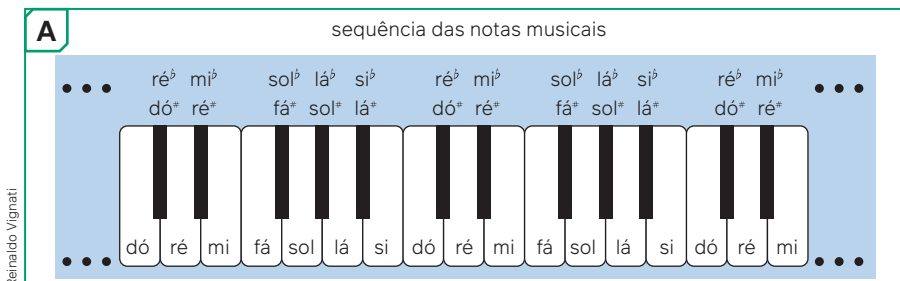


Ciência por dentro

Construindo um instrumento musical de tubos

Nesta atividade experimental, vamos lançar mão dos conhecimentos em ondas sonoras para construirmos um “chinelofone”. O nome “chinelofone” é um trocadilho que junta a ideia de um xilofone, instrumento mais complexo, orquestral, e do uso de chinelos para tocar canos de PVC.

Para construirmos um instrumento musical, precisamos de uma sequência de notas musicais, ou seja, uma sequência de ondas sonoras com frequências previamente definidas (A).



A nota musical mais comumente usada como referência é a nota Lá 4, posicionada no centro do teclado de um piano. Essa nota corresponde à frequência de 440 Hz. No piano, as notas musicais se repetem de modo que sempre que a frequência de uma nota musical

dobra, tem-se a mesma nota, mas posicionada “uma oitava acima”, termo usado entre músicos. Mas de uma nota Lá até o próximo Lá, como do Lá 4 até o Lá 5, existem 12 teclas no piano, ou seja, 12 intervalos de frequência. Multiplicando-se um valor “i” para o intervalo de frequências por 12, precisamos ter o dobro da frequência (B). Por isso, para saber a frequência de uma nota musical imediatamente à frente do Lá, basta multiplicar a frequência da nota Lá por esse intervalo “i”. Obtemos assim uma **Escala temperada**.

GLOSSÁRIO

escala temperada: é o conjunto de notas que diferem de um valor constante entre duas notas consecutivas.

B

intervalo na escala temperada

$$i \times i \times \dots \times i = 2$$

$$i^{12} = 2$$

$$i = \sqrt[12]{2}$$

$$i \approx 1,05946$$

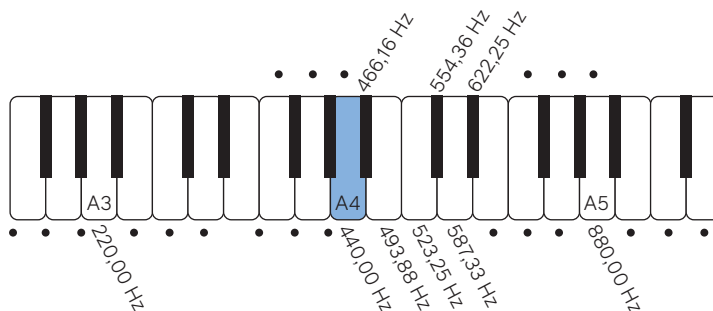
Assim,

$$440 \cdot 1,05946 = 466,16$$

$$466,16 \cdot 1,05946 = 493,88$$

e assim por diante

notas musicais e frequências da escala temperada no piano




Representação dos três primeiros modos de vibração nas teclas de um piano.

Com isso, podemos definir um conjunto de frequências indicando um conjunto de notas musicais para construirmos um instrumento usando tubos, que serão cortados dos tamanhos adequados para cada frequência.

Material:

- canos de PVC;
- aplicativo de afinar instrumentos musicais, instalado em um smartphone;
- fita métrica;
- serrinha de canos;
- um chinelo.

Procedimento

1. Reúna-se em grupo e defina quantas e quais notas musicais serão utilizadas no instrumento. 
2. Feita essa definição, selecione as variáveis relevantes para calcular o tamanho do tubo na nota musical de referência. Se for a nota musical Lá 4, a frequência será 440 Hz.
3. Então, tomando a velocidade aproximada do som no ar à temperatura ambiente (boxe **Saiba Mais**, página 164), descubra qual é o comprimento de onda da nota Lá.
4. Sabendo que no primeiro harmônico de um tubo aberto, o comprimento do tubo é metade do comprimento de onda da frequência de interesse, defina o tamanho do tubo.
5. Corte o tubo no comprimento calculado. Recomendamos que você procure auxílio de uma pessoa experiente para evitar acidentes.
6. Utilizando o aplicativo instalado, bata com um chinelo na boca do tubo e verifique se a frequência calculada é a mesma da frequência encontrada.
7. Repita o procedimento para todas as outras notas musicais escolhidas.

Trocando ideias



1. Como podemos produzir o som apenas batendo com o chinelo no cano?
2. Do ponto de vista técnico, qual é a diferença que você julga existir entre o processo utilizado para o “chinelofone” e a construção de outros instrumentos de tubo.
3. Após a construção do “chinelofone”, como você avalia a relação entre Ciência, cultura e arte?

Atividades propostas



1. Para que um tubo aberto dos dois lados emita um som fundamental na frequência do Lá central do piano, ou seja, 440 Hz, qual deve ser seu comprimento? (Considere a velocidade do som no ar como sendo 340 m/s).
2. Um encordoamento de violão possui seis cordas com densidades lineares diferentes. Explique a necessidade dessa diferença.
3. Um flautista habilidoso consegue produzir um terceiro harmônico em uma flauta de tubo com um dos lados fechados. Se a flauta tem 60 cm de comprimento e a velocidade do som no ar é aproximadamente 300 m/s, use a tabela a seguir para determinar nota musical aproximada que a flauta está emitindo.

Nota musical	Frequência (Hz)
Fá (F)	349
Fá#(*) (F#)	370
Sol (G)	392
Sol# (G#)	415
Lá (A)	440
Lá# (A#)	466
Si (B)	494
Dó (C)	523
Dó# (C#)	554
Ré (D)	587
Ré# (D#)	622
Mi (E)	659
Fá (F)	698
Fá# (F#)	740

(*) lê-se: fá sustenido

Recapitule



Caros estudantes, neste capítulo tínhamos como objetivos:

- discutir as características ondulatórias do som;
- aplicar noções de acústica em diferentes contextos;
- analisar fenômenos acústicos em cenários cotidianos;
- avaliar aspectos comunicacionais do som e riscos à audição.

Agora, sabemos que tipo de onda é o som, conhecemos alguns contextos nos quais as noções de acústica podem ser aplicadas, como na afinação de instrumentos musicais e na proteção a nossos sistemas. Ainda podemos analisar diferentes emissões sonoras a partir de ondas estacionárias e de fenômenos naturais como a interferência sonora e outros.

Vamos retomar as questões iniciais do capítulo e convidamos você a produzir novas respostas a elas:

1. Por que os tambores de uma bateria são de tamanhos diferentes?
2. Os morcegos ouvem os mesmos sons que os seres humanos?
3. É possível reconhecer a voz de três parentes próximos que estiverem cantando a mesma música? Por quê?

Esperamos que sua vivência com este capítulo possa ampliar as sensações que a música oferece, agora recheadas com conhecimentos da Física. Para solidificarmos este conhecimento, produza em seu caderno um mapa de ideias com ao menos seis conceitos que você tenha aprendido neste capítulo.

Ondas e diagnóstico por imagem



CAPÍTULO

11

Zoriana Zaitseva/Shutterstock.com



Exame médico de ultrassonografia sendo realizado no abdômen de uma paciente.

▼ Para refletir

1. Como um exame de ultrassonografia converte ondas ultrassônicas em imagens?
2. Por que não usamos som audível para exames de imagem?
3. Em que medida os avanços na medicina se valem dos conhecimentos desenvolvidos no campo da Física?
4. Além do ultrassom, quais outros exames clínicos de imagem você conhece?

Objetivos do capítulo

- Compreender fenômenos ondulatórios e suas aplicações.
- Aplicar conceitos de fenômenos ondulatórios a exames de diagnóstico por imagem.
- Analisar em diferentes tecnologias o papel do conhecimento em ondulatória.
- Avaliar aspectos da Física no cuidado à saúde humana.

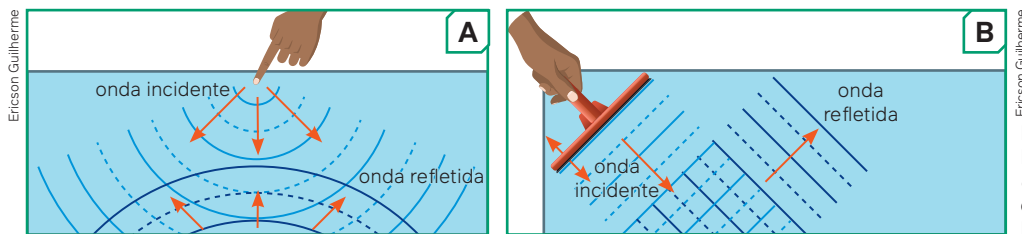
Fenômenos ondulatórios bidimensionais

Reflexão de ondas bidimensionais

Representações simplificadas em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Nas cordas, as ondas podem sofrer reflexão ao atingirem o final de seu comprimento, entretanto, ondas de outra natureza também podem sofrer reflexão ao encontrarem um anteparo, como as ondas na superfície de um lago, que se refletem ao encontrarem uma borda, as ondas eletromagnéticas, que se refletem ao encontrarem uma superfície metálica e as ondas sonoras, que se refletem ao encontrarem um anteparo rígido. De modo semelhante, quaisquer outras ondas também sofrem reflexão.

Se você estiver à borda de uma piscina com águas bem calmas e tocar com o dedo a superfície da água, verá que ondas circulares se propagam até serem refletidas na parede oposta, conforme é apresentado na figura a seguir. Caso a perturbação seja feita com um rodo ou com uma barra reta, ondas com frente plana serão formadas.



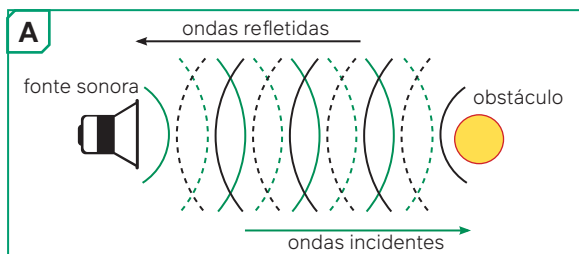
Ericson Guilherme

Fonte: YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. *Física II, Sears e Zemansky: termodinâmica e ondas*. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

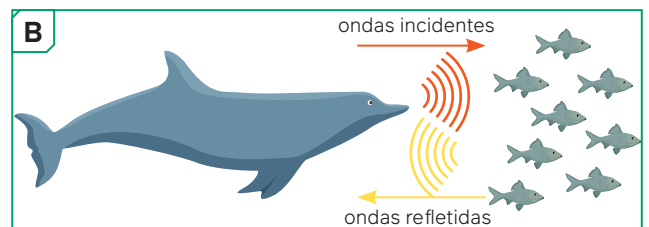
Reflexão de ondas em superfície líquida em um tanque com água. Em (A), uma perturbação pontiforme provocada pelo dedo sobre a água, gerando ondas circulares que se refletem na parede do tanque de água; em (B) uma perturbação extensa, gerando ondas de frente plana que se refletem na mesma parede; em linha pontilhada, indica-se os vales das ondas e em linhas cheias indicam-se as cristas.

Ondas refletidas e ecolocalização

Quando uma onda se propaga em um meio, um obstáculo pode promover reflexão de parte de sua energia promovendo o que reconhecemos como "eco". Pelo intervalo de tempo de reflexão das ondas sonoras, é possível determinar a que distância o obstáculo se encontra, por isso, os sons audíveis e os ultrassons podem ser utilizados para localizar um objeto por eco, processo conhecido como ecolocalização. A ecolocalização é utilizada para orientar a navegação de submarinos e também é utilizada por animais para localização de alimentos, predadores e obstáculos, como no caso dos morcegos e dos golfinhos.

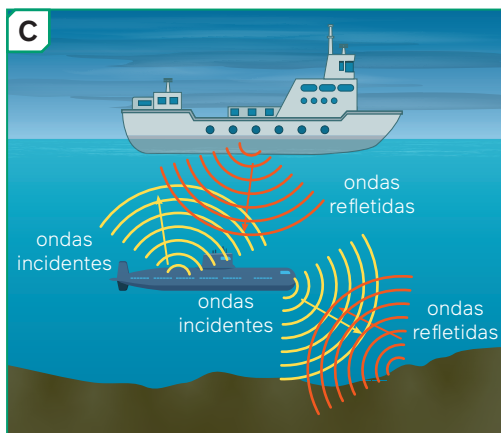


TDPStuário

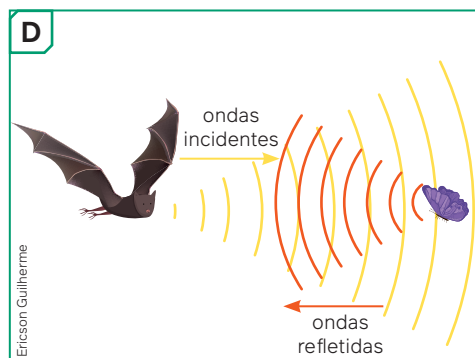


Ericson Guilherme

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Ericson Guilherme



Ericson Guilherme

Emissão de onda sonora por uma fonte com indicativo da onda incidente encontrando um obstáculo e refletindo por ele parte de sua energia (A); ecolocalização de um golfinho (B); sonar de um submarino (C) e de um morcego (D).



Ecocalização humana

A ecolocalização pode ser utilizada também para que pessoas com deficiência visual aprendam a utilizar o som para evitar obstáculos e conseguirem se locomover. No texto abaixo, você lerá acerca do assunto.

[...]

Compreender os fatores que determinam se uma pessoa pode aprender com sucesso uma nova habilidade sensorial é essencial para compreender como o cérebro se adapta às mudanças e para fornecer apoio de reabilitação para pessoas com perda sensorial. Relatamos um estudo de treinamento que investigou os efeitos da cegueira e da idade no aprendizado de uma habilidade auditiva complexa: a ecolocalização baseada em cliques. Participantes cegos e visuais de várias idades (21-79 anos; cegos medianos: 45 anos; visuais medianos: 26 anos) treinaram em 20 sessões ao longo de 10 semanas em várias tarefas práticas e virtuais de navegação. Os participantes cegos também participaram de uma pesquisa de acompanhamento de 3 meses para avaliar os efeitos do treinamento em sua vida diária. Descobrimos que tanto as pessoas com visão como as cegas melhoraram consideravelmente em todas as medidas e, em alguns casos, tiveram um desempenho comparativo com os ecolocalizadores especializados no final do treinamento. Surpreendentemente, em alguns casos, as pessoas com visão tiveram um desempenho melhor do que as cegas, embora as nossas análises sugiram que isto possa ser melhor explicado pela idade mais jovem (ou pela audição binaural superior) do grupo com visão. É importante ressaltar, no entanto, que nem a idade nem a cegueira foram um fator limitante na taxa de aprendizagem dos participantes (ou seja, na sua diferença no desempenho da primeira até a última sessão) ou na sua capacidade de aplicar as suas habilidades de ecolocalização a tarefas novas e não treinadas. Além disso, na pesquisa de acompanhamento, todos os participantes cegos relataram uma melhoria na mobilidade e 83% relataram uma melhor independência e bem-estar. No geral, nossos resultados sugerem que a capacidade de aprender a ecolocalização baseada em cliques não é fortemente limitada pela idade ou nível de visão. Isto tem implicações positivas para a reabilitação de pessoas com perda de visão ou nas fases iniciais de perda progressiva de visão.

[...]

NORMAN, L. J. *et al.* Human click-based echolocation: Effects of blindness and age, and real-life implications in a 10-week training program. *PloS one*, San Francisco, v. 16, n. 6, p. e0252330, 2021. (Tradução nossa).

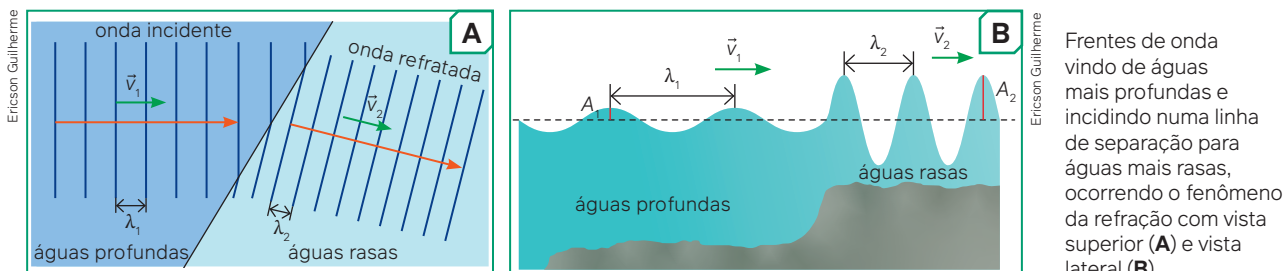
Trocando ideias

1. Os resultados indicados no trecho acima sugerem que os seres humanos conseguem aprender a ecolocalização?
2. Considerando que o texto acima foi publicado em uma revista científica, por que informações em um artigo desse tipo são confiáveis enquanto informações de blogs ou de redes sociais nem sempre o são?
3. Como você pensaria a inclusão de pessoas sem visão em uma vida social mais justa a partir da pesquisa que o texto acima apresenta?

Refração de ondas bidimensionais

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Quando ondas mudam de meio de propagação, há alteração na sua velocidade e no seu comprimento de onda, fenômeno conhecido como refração. Embora já tenhamos visto a refração de ondas em cordas, quando falamos de outros tipos de ondas, como ondas no mar, dois aspectos se fazem notar: não há mudança na frequência das ondas e, caso a frente de onda incida obliquamente à separação dos dois meios, haverá uma mudança na direção de propagação, conforme é apresentado na figura a seguir. Essas características marcam o fenômeno da refração.



Frentes de onda vindo de águas mais profundas e incidindo numa linha de separação para águas mais rasas, ocorrendo o fenômeno da refração com vista superior (A) e vista lateral (B).

Fonte: YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. *Física IV*, Sears e Zemansky. ótica e física moderna. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

Se liga

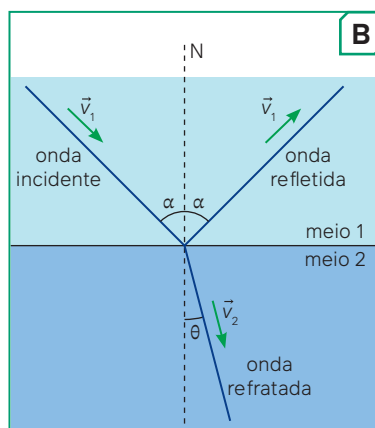
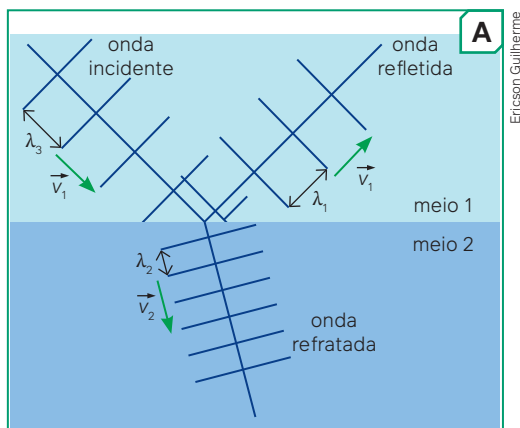
Quando ocorre a refração, a frequência da onda não se altera, mesmo que a velocidade e o comprimento de onda se alterem. Por isso, na refração, considerando uma onda proveniente de um meio 1 e sendo transmitida para um meio 2, temos:

$$f_1 = f_2$$
$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}$$

O fato de as ondas quebrarem na praia pode ser explicado por meio do fenômeno da refração. Quando em alto mar, as ondas possuem grande velocidade e maior comprimento de onda devido à profundidade, mas, ao chegarem na parte mais rasa da praia, há uma redução em sua velocidade e em seu comprimento de onda. Como a energia mecânica dessas ondas é, em grande parte, conservada, a redução da velocidade ocasiona uma redução de energia cinética da onda e, conseqüentemente, em um aumento na energia potencial. Então, na parte mais rasa, a amplitude das ondas aumenta (figura anterior), fazendo com que a superfície da onda não se sustente e “quebre”, em outras palavras, fazendo com que parte da água que está na crista literalmente caia.

Lei de Snell-Descartes para ondas

A mudança de direção e/ou de velocidade quando uma onda muda de meio de propagação tem suas variáveis regidas pela Lei de Snell-Descartes, identicamente à refração da luz, que também é uma onda.



Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Fonte: YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. *Física IV, Sears e Zemansky: ótica e física moderna*. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016

(A) onda incidente, onda refletida e onda refratada, com destaque aos comprimentos e às velocidades; (B) indicativo da reta normal à separação de dois meios de propagação, com destaque aos ângulos de incidência e de refração; e à direita, equação da Lei de Snell-Descartes para refração de ondas.

Lei de Snell-Descartes para refração de onda

$$\frac{\text{sen } \alpha}{v_1} = \frac{\text{sen } \theta}{v_2}$$

α : ângulo de incidência

θ : ângulo de refração

v_1 : velocidade da onda no meio 1

v_2 : velocidade da onda no meio 2

O ângulo de incidência e o ângulo de refração estão relacionados matematicamente aos seus senos e às suas velocidades de propagação no meio. Embora não costumemos ver uma refração de ondas de modo esquematizado, como na figura, duas conseqüências são notáveis:

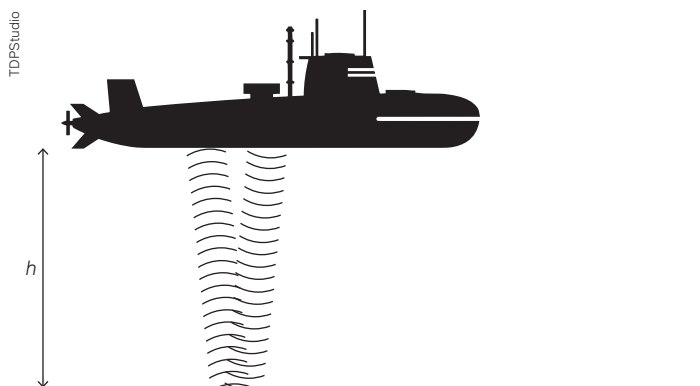
1. não existe refração na qual 100% da energia da onda seja transferida para um segundo meio de propagação – sempre há uma parcela da energia da onda que é refletida;
2. a mudança da direção de propagação indica que, quanto menor é a velocidade da onda refratada, menor será seu ângulo de refração, e é isso que faz com que ondas na praia sempre mudem sua direção para que fiquem de frente para a areia.

Atividades comentadas

1. Um submarino utiliza seu sonar ultrassônico para verificar a profundidade do leito do oceano. As ondas emitidas pelo sonar do submarino têm frequência de 100 kHz e viajam dentro da água com velocidade de 1 500 m/s. Sabendo que a onda resposta do sonar é recebida 0,01 s após a emissão, a que profundidade está o leito em relação ao submarino?

Resolução

Para que esta profundidade seja calculada, não é necessário sabermos a frequência do ultrassom porque, como o som é gerado dentro da água, independente da frequência, sua velocidade será a mesma. Por outro lado, é importante sabermos que o tempo de retorno do sinal sonoro inclui o tempo de ida e de volta da onda. Utilizando a equação da velocidade, teremos:



$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$
$$v_{\text{som}} = \frac{2h}{\Delta t}$$
$$1500 = \frac{2h}{0,01}$$
$$0,01 \cdot 1500 = 2h$$
$$15 = 2h$$
$$h = 7,5 \text{ m}$$

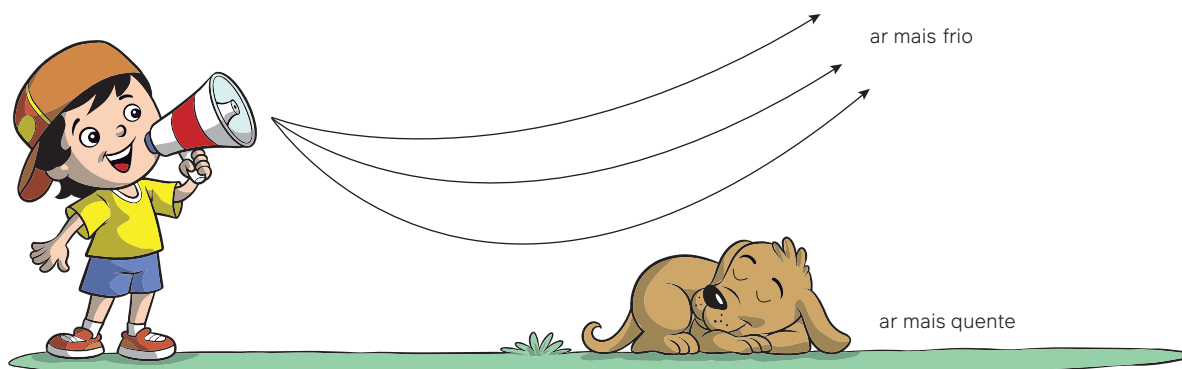
2. Em um dia quente, uma criança em um grande campo aberto chama por seu cachorro que está deitado no chão, a uma grande distância. Nesse dia, o ar próximo ao solo estava mais quente que o ar mais acima. A criança percebe que, por mais que ela grite, o cachorro não a escuta. Esse fenômeno ocorre porque:
- as ondas sonoras são absorvidas em um campo aberto.
 - as ondas sonoras são refletidas no cachorro.
 - as ondas sonoras não se propagam em um campo aberto.
 - as ondas sonoras são refletidas no chão e não chegam ao cachorro.
 - as ondas sonoras são refratadas no ar, desviando do cachorro.

Resposta

Este fenômeno ocorre porque em diferentes temperaturas o ar tem diferentes velocidades.

Então, quando a criança grita, as ondas sonoras atravessam diferentes camadas de ar que possuem diferentes temperaturas, ou seja, diferentes meios nos quais a onda tem diferentes velocidades. Isso implica a ocorrência da refração das ondas sonoras e sua consequente mudança de direção de propagação. As opções distratoras desta atividade indicam outros fenômenos ondulatórios, como absorção e reflexão, que não explicam a mudança de direção das ondas.

Solução: Alternativa **e**.



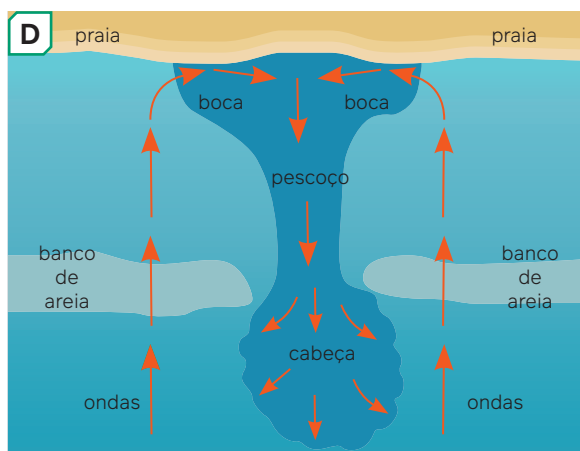
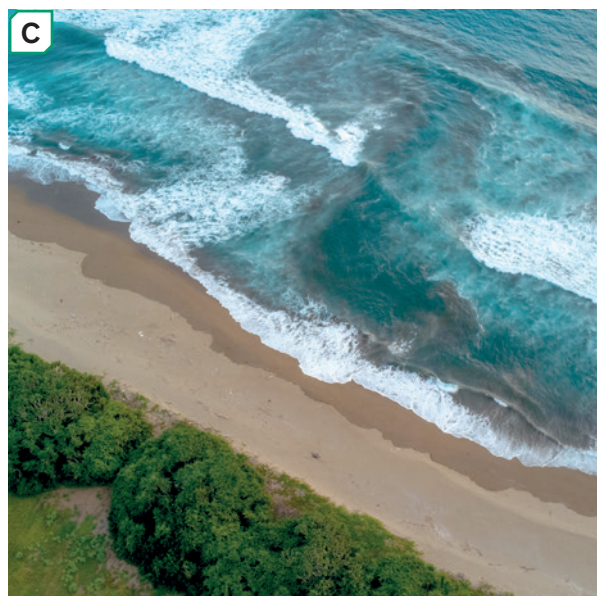
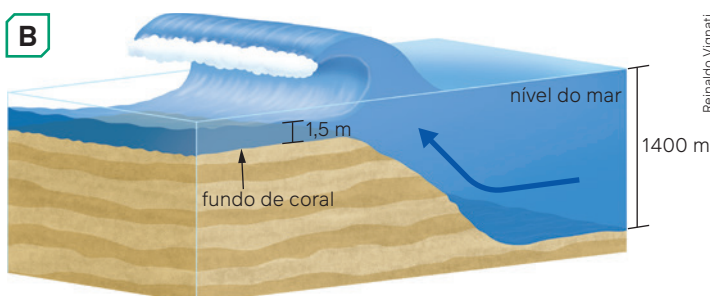
TDPStudio

Refração de ondas e perigos na praia

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

As características da refração de ondas permitem identificar perigos na praia associados à mudança brusca de profundidade. Se forem observadas ondas se quebrando em uma região, pode-se inferir a presença de áreas mais rasas, indicando, por exemplo, a presença de pedras perigosas. Em locais onde a profundidade varia abruptamente, de milhares de metros a poucos metros em um curto espaço, formando "degraus" no fundo do oceano, surgem as ondas mais desejadas por surfistas profissionais, mas, ao mesmo tempo, as que são mais perigosas para banhistas inexperientes.

O contrário também pode ser observado. A ausência de ondas quebrando pode indicar uma região onde a profundidade aumenta abruptamente. Como as ondas têm maior velocidade de propagação em locais mais fundos, essas regiões geram as chamadas **correntes de retorno**. Essas correntes são as responsáveis por diversos casos de afogamento nas praias e banhar-se nessas áreas não é recomendado.



Ondas quebrando por refração em um fundo de coral em Teahupoo, na ilha do Taiti, França (A); esquematização do degrau de fundo de mar (B); regiões com intervalo sem ondas em uma praia na Ilha de Java (C); e esquematização das correntes de retorno (D).

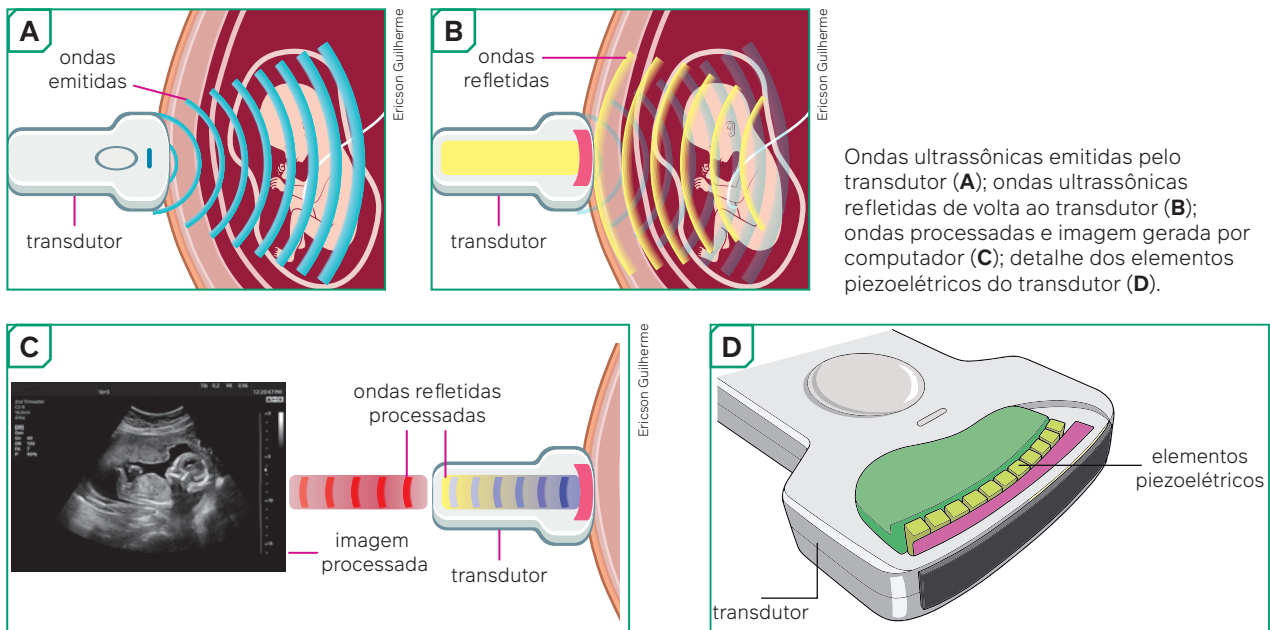
Diagnóstico por imagem de ultrassonografia

A reflexão e a refração de ondas são fundamentais para que um exame de diagnóstico por imagem como a ultrassonografia seja realizado. Os exames desse tipo geram uma imagem interna de nossos corpos a partir de ondas ultrassônicas (de alta frequência).

A formação da imagem ultrassonográfica

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Para a formação de imagens nos exames de ultrassonografia, ondas ultrassônicas são emitidas por um dispositivo chamado transdutor, sendo refratadas e refletidas nos diferentes tecidos internos do corpo e captadas de volta pelo mesmo transdutor. Um transdutor de ultrassonografia funciona como um microfone e como um alto-falante, mas, em vez de utilizar uma bobina com corrente elétrica próxima a um ímã, utiliza cristais piezoelétricos, que são materiais que geram corrente elétrica quando recebem uma variação de pressão (como nas ondas refletidas que chegam ao transdutor) e que fazem o oposto também, ou seja, com variação de tensão elétrica, produzem variações de pressão (emitem ondas).



Uma das principais características relacionada à ondulatoria que permite a formação de uma imagem de ultrassonografia é que, em toda refração, parte da onda é transmitida (onda refratada), e parte da onda é refletida (onda refletida). Por isso, cada vez que as ondas de ultrassom encontram tecidos diferentes, parte da onda sofre reflexão e parte da onda sofre refração. As diferenças nos tempos de reflexão indicam a diferença de profundidade do tecido, indicando na imagem o que está mais próximo e o que está mais distante do transdutor, conforme é apresentado a seguir.

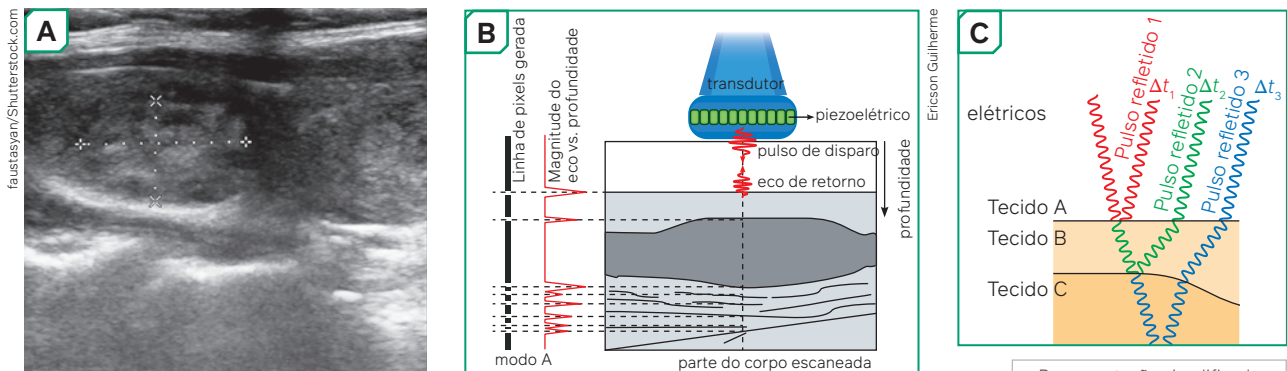


Imagem de uma ultrassonografia (A), com picos de onda refletida a cada mudança de tecido (B) e indicativo de diferentes tempos de reflexão em diferentes profundidades (C).

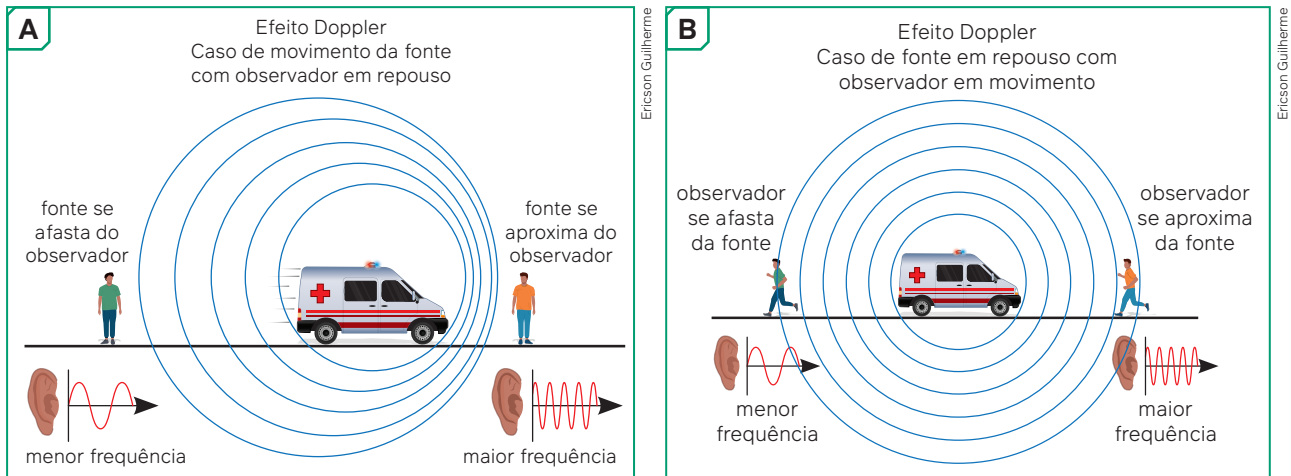
Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

O ultrassom com Doppler

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Um importante fenômeno ondulatório é utilizado para que um exame de ultrassonografia detecte fluxos sanguíneos dentro das veias e artérias. Esse fenômeno é o Efeito Doppler-Fizeau, ou simplesmente **efeito Doppler**. Já vimos que fenômenos como reflexão ou refração não alteram a frequência das ondas, mas a frequência de uma onda pode ser alterada quando a fonte de ondas se movimenta em relação a quem recebe essas ondas.

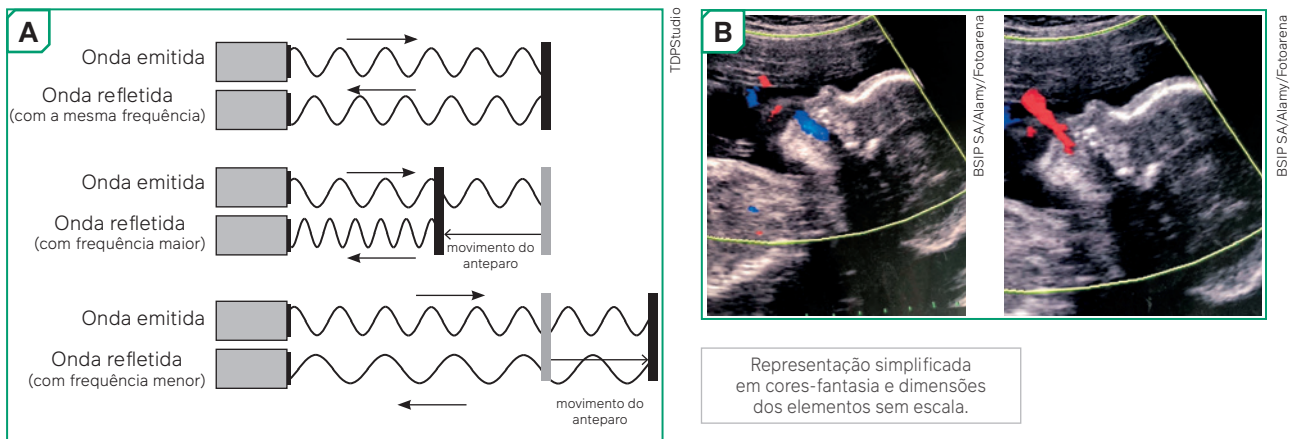
O efeito Doppler é perceptível quando uma ambulância com a sirene ligada passa por uma pessoa na calçada. Quando a ambulância se aproxima, ouvimos a sirene com som mais agudo; quando a ambulância se afasta, ouvimos a sirene com som mais grave. Esse é o caso mais corriqueiro de efeito Doppler, mas o efeito Doppler também ocorre se tivermos uma ambulância em repouso emitindo som e um observador passar por ela.



Fonte: SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. *Princípios de Física: oscilações, ondas e termodinâmica*. São Paulo: Cengage Learning, 2015. v. 2.

Duas situações nas quais o efeito Doppler ocorre: uma delas com movimento da fonte (**A**); outra com movimento do observador (**B**).

O efeito Doppler também acontece quando um som é emitido, se reflete e retorna ao emissor. Se a parede refletora estiver em movimento, a frequência do som mudará. Com a parede se aproximando da fonte que emite o som e recebe a onda refletida, haverá um aumento na frequência, pois mais ondas por segundo retornarão. De modo oposto, com a parede se afastando, haverá uma diminuição da frequência do som refletido. A figura a seguir mostra como o efeito Doppler pode ser utilizado em exames médicos.



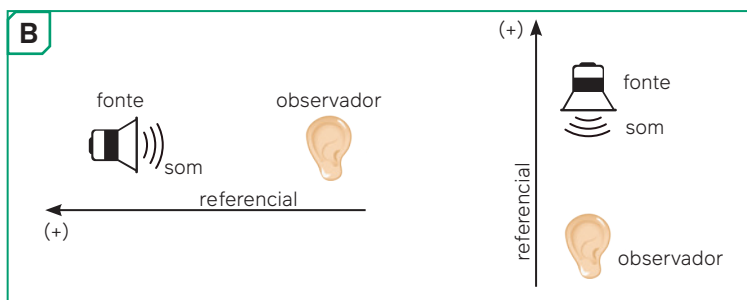
Em (**A**), esquematização da onda emitida e da onda refletida em três situações, indicando efeito Doppler na onda refletida quando há movimento do anteparo. Em (**B**), imagem de ultrassonografia de um feto dentro do útero "respirando" líquido amniótico e com as cores azul e vermelho mostrando, por efeito Doppler, o líquido em um sentido e em outro sentido.

É possível determinarmos o valor da frequência de um som recebida por um observador (f_{obs}), com frequência original f_{fonte} emitido por uma fonte que se movimenta em relação a ele. Neste caso, dependeremos dos valores da velocidade do som no meio de propagação em questão (v_{som}), e das velocidades do observador (v_{obs}) e da fonte (v_{fonte}), conforme mostrado na figura a seguir.

A Equação do efeito Doppler-Fizeau:

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \frac{V_{\text{som}} \pm V_{\text{obs}}}{V_{\text{som}} \mp V_{\text{fonte}}}$$

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Fonte: HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 2.

Cálculo da frequência detectada em situações de movimento relativo entre fonte sonora e observador do som (**A**) e esquemas de utilização do referencial que determina os sinais das velocidades no cálculo (**B**), impondo o sinal positivo do referencial orientado sempre do observador para a fonte sonora.

A equação apresentada acima, inclui sinais positivos e negativos. Sabemos que, em cinemática, o sinal da velocidade depende sempre do referencial adotado. Por isso, em questões que envolvam efeito Doppler, o cálculo é feito atribuindo sinais às velocidades do observador e da fonte sempre dependentes do referencial que indica o sinal positivo no sentido do observador para a fonte sonora.

Atividades comentadas

- Um caminhão buzina enquanto se aproxima de um observador em repouso à beira de uma estrada. Enquanto o caminhão se aproxima, o observador ouve um som:
 - de maior amplitude.
 - de menor frequência.
 - de menor amplitude.
 - de maior frequência.
 - idêntico ao som do carro em repouso.

Resolução

No efeito doppler, quando há aproximação entre fonte e observador, o observador atravessará mais ondas por segundo do que se ambos estivessem em repouso. Por isso, o som que chega ao observador é mais agudo que o som emitido pela fonte, ou seja, tem maior frequência.

Solução: Alternativa **d**.

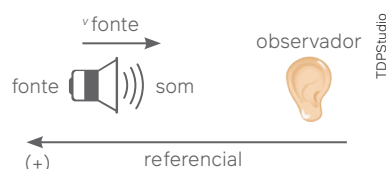
- O som da buzina de um carro é emitido com 640 Hz de frequência. Qual será a frequência do som detectado pelo observador quando esse carro se desloca a 20 m/s se aproximando dele, considerando que o som se propaga no ar a uma velocidade de aproximadamente 340 m/s?

Resolução

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \frac{V_{\text{som}} \pm V_{\text{obs}}}{V_{\text{som}} \pm V_{\text{fonte}}} \Rightarrow f_{\text{obs}}$$

$$= 640 \frac{340 \pm 0}{340 - 20} \Rightarrow f_{\text{obs}} = 640 \cdot \frac{340}{320} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f_{\text{obs}} = 2 \cdot 340 \therefore f_{\text{obs}} = 680 \text{ Hz}$$



Atividades propostas

- Atualmente, os radares meteorológicos utilizam o efeito doppler. Qual é a vantagem de se utilizar esse tipo de fenômeno em um radar de revisão do tempo?
- (Enem – 2016) O morcego emite pulsos de curta duração de ondas ultrassônicas, os quais voltam na forma de ecos após atingirem objetos no ambiente, trazendo informações a respeito das suas dimensões, suas localizações e dos seus possíveis movimentos. Isso se dá em razão da sensibilidade do morcego em detectar o tempo gasto para os ecos voltarem, bem como das pequenas variações nas frequências e nas intensidades dos pulsos ultrassônicos. Essas características lhe permitem caçar pequenas presas mesmo quando estão em movimento em relação a si. Considere uma situação unidimensional em que uma mariposa se afasta, em movimento retilíneo e uniforme, de um morcego em repouso.

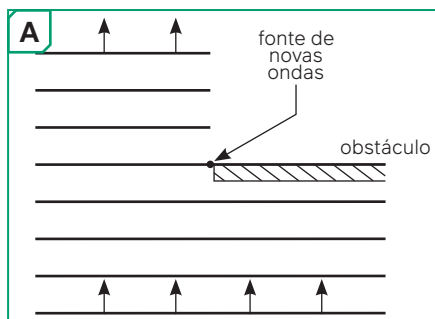
A distância e velocidade da mariposa, na situação descrita, seriam detectadas pelo sistema de um morcego por quais alterações nas características dos pulsos ultrassônicos?

- Intensidade diminuída, o tempo de retorno aumentado e a frequência percebida diminuída.
 - Intensidade aumentada, o tempo de retorno diminuído e a frequência percebida diminuída.
 - Intensidade diminuída, o tempo de retorno diminuído e a frequência percebida aumentada.
 - Intensidade diminuída, o tempo de retorno aumentado e a frequência percebida aumentada.
 - Intensidade aumentada, o tempo de retorno aumentado e a frequência percebida aumentada.
3. (Enem – 2009) A ultrassonografia, também chamada de ecografia, é uma técnica de geração de imagens muito utilizada em medicina. Ela se baseia na reflexão que ocorre quando um pulso de ultrassom, emitido pelo aparelho colocado em contato com a pele, atravessa a superfície que separa um órgão do outro, produzindo ecos que podem ser captados de volta pelo aparelho. Para a observação de detalhes no interior do corpo, os pulsos sonoros emitidos têm frequências altíssimas, de até 30 MHz, ou seja, 30 milhões de oscilações a cada segundo. A determinação de distâncias entre órgãos do corpo humano feita com esse aparelho fundamenta-se em duas variáveis imprescindíveis:
- a intensidade do som produzido pelo aparelho e a frequência desses sons.
 - a quantidade de luz usada para gerar as imagens no aparelho e a velocidade do som nos tecidos.
 - a quantidade de pulsos emitidos pelo aparelho a cada segundo e a frequência dos sons emitidos pelo aparelho.
 - a velocidade do som no interior dos tecidos e o tempo entre os ecos produzidos pelas superfícies dos órgãos.
 - o tempo entre os ecos produzidos pelos órgãos e a quantidade de pulsos emitidos a cada segundo pelo aparelho.
4. Nossos ouvidos percebem bem diferenças de frequência de 2%. Em um dia cuja velocidade do som no ar é de 340 m/s, qual é a velocidade de um observador se aproximando de uma fonte em repouso para que se perceba essa diferença de frequência no som emitido por ela?
5. Dois pássaros, A e B, voam, um em direção ao outro, com velocidades $v_A = 15$ m/s e $v_B = 20$ m/s. Ambos cantam simultaneamente, com sons de frequências iguais a 2 000 Hz. Qual é a frequência do som que cada ave ouvirá? Considere a velocidade do som no ar como sendo 330 m/s.

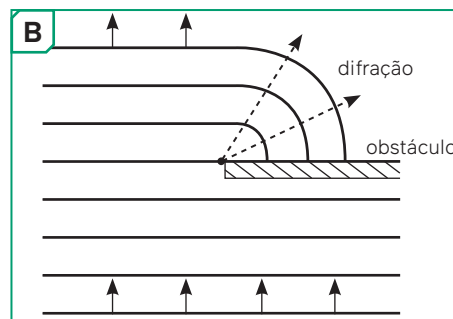
Difração de ondas

Dentro de casa, se chamamos por uma pessoa em um outro cômodo e que não estamos vendo, a pessoa é capaz de nos ouvir. Isso indica que as ondas sonoras conseguem contornar os obstáculos que existem entre o local de onde falamos e o local onde a pessoa nos escuta. Na verdade, isso pode acontecer com outros tipos de onda cuja propagação se dê em um plano, como as ondas bidimensionais, que se propagam na superfície da água ou em um volume, como as ondas tridimensionais, com o som enchendo o ambiente. Por ser uma onda, a luz também contorna obstáculos, mas, para percebermos isso, as circunstâncias precisam ser favoráveis, como veremos. Qualquer que seja o tipo de onda, esse fenômeno é conhecido como **difração**.

A causa da difração pode ser explicada pelo princípio de Huygens-Fresnel – nome dado em homenagem aos cientistas Christiaan Huygens (1629-1695) e Augustin Jean Fresnel (1788-1827). Em diferentes épocas e por diferentes situações, ambos perceberam que, em uma onda se propagando, cada um de seus pontos funciona como uma pequena fonte pontual que gera novas ondas. A consequência disso é que, ao passar por um obstáculo, o ponto da onda próximo ao obstáculo gerará novas ondas que o contornarão. Tal fenômeno pode ser observado a partir da figura a seguir.



TDPStudio



TDPStudio

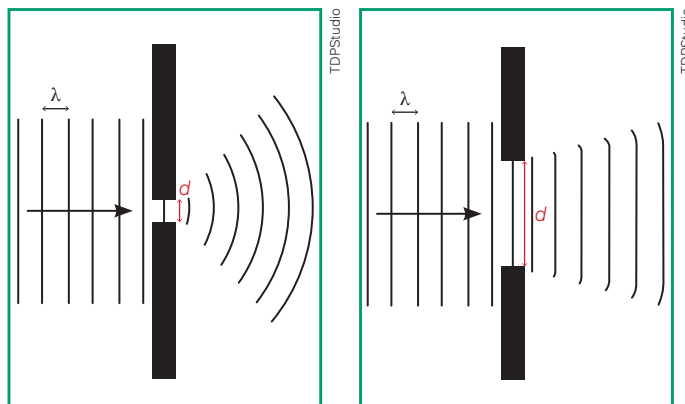
Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Indicação de ondas encontrando um obstáculo (A) com destaque para o ponto da frente de onda na borda do obstáculo que produzirá novas ondas (B), o contornando.

Fonte: TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Physics for scientists and engineers*. 6. ed. Nova York: W. H. Freeman and Company, 2008.

Para que a difração seja mais acentuada e percebida, é necessário que a largura do obstáculo seja equivalente ao comprimento de onda, por isso não costumamos enxergar a difração para a luz visível. O comprimento de onda da luz visível é da ordem de 400 nm a 700 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), e não costumamos lidar com medidas tão pequenas em nossos cotidianos.

Por outro lado, para o som isso se percebe mais facilmente. Passamos em frente a uma casa de *shows* fechada e o que ouvimos do som tocado lá dentro é a parte mais grave do som. Os sons mais graves possuem maior comprimento de onda e, por isso, contornam muito mais facilmente janelas, gretas, portas. Já o com mais agudo tem menor comprimento de onda e a maioria dos obstáculos ou fendas a serem contornados é maior que seu comprimento de onda, diminuindo o efeito da difração.



Fonte: YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. *Física IV, Sears e Zemansky: ótica e física moderna*. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

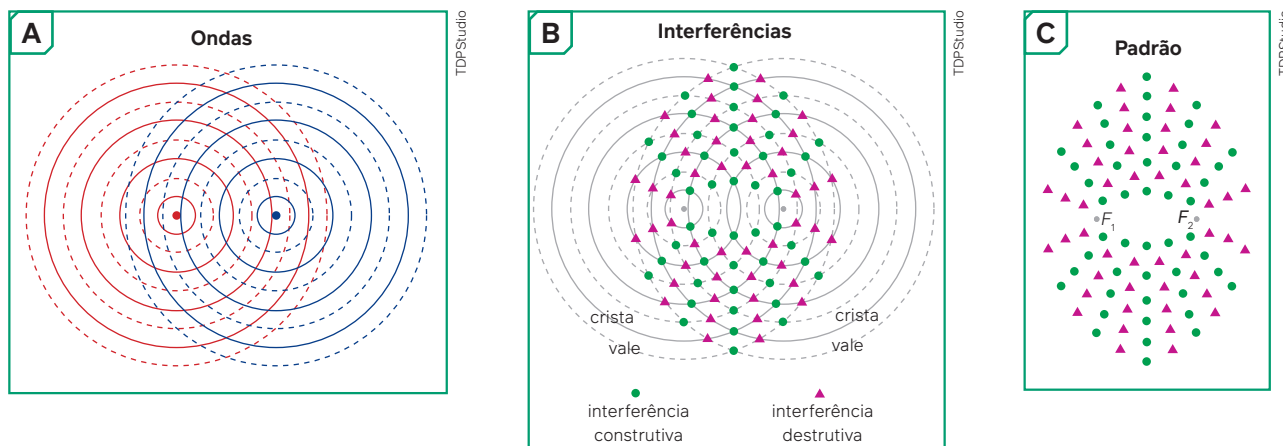
Dois casos de difração com uma situação na qual a fenda é próxima ao comprimento de onda, com difração mais acentuada e outro no qual a fenda é maior que o comprimento de onda, com difração menos acentuada.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Padrões de Interferência

Vimos nas ondas em cordas, que quando duas ondas se encontram em fase, ou seja, crista com crista das ondas ou vale com vale das ondas, temos uma interferência construtiva. Por outro lado, quando ondas se encontram com fases opostas, temos uma interferência destrutiva.

Na figura a seguir, duas fontes de ondas coerentes (que produzem ondas ao mesmo tempo em mesma fase) emitem ondas que se propagam por uma superfície. As linhas pontilhadas indicam vales das ondas e as linhas cheias indicam cristas. Após várias ondas serem emitidas, o que se vê é que em alguns pontos há interferência construtiva (representadas por bolas verdes) e em outros pontos há interferência destrutiva (representada por triângulos rosas).

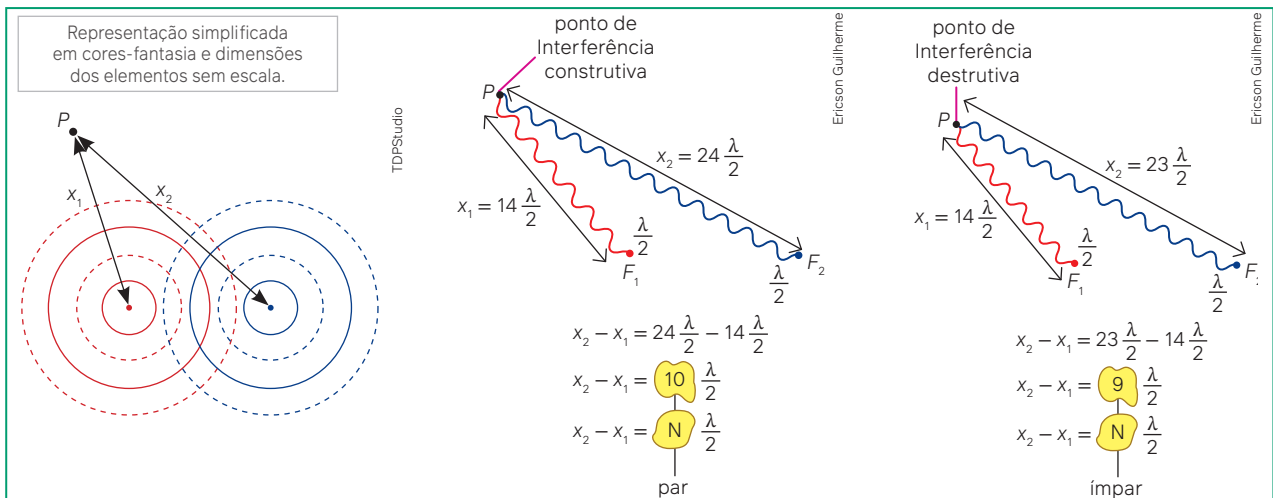


Fonte: BARIK, T. K.; ROY, A.; KARA, S. A simple experiment on diffraction of light by interfering liquid surface waves. *American Journal of Physics*, Maryland, v. 73, n. 8, p. 725-729, 2005.

Dois fontes de ondas emitindo ondas circulares em uma superfície com indicações de cristas (linha cheia) e vales (linha pontilhada) indicadas em (A); em (B), indicativo de alguns dos pontos de interferência construtiva e de interferência destrutiva; em (C), o padrão de interferência formado.

Diferença de marcha em ondas

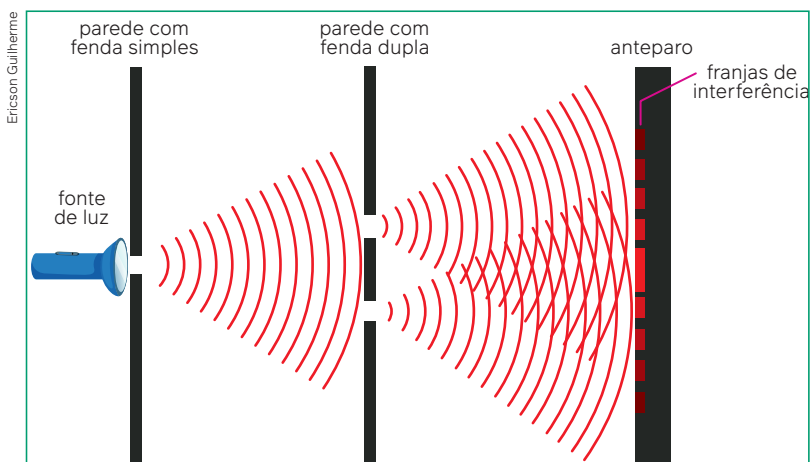
Para avaliarmos se um ponto qualquer próximo a duas fontes de onda será de interferência construtiva ou destrutiva, precisamos avaliar o caminho que as duas ondas percorreram até se encontrarem nesse ponto. Se o que chega ao ponto corresponde à mesma fase das duas ondas (crista-crista ou vale-vale), temos **interferência construtiva**. Se o que chega ao ponto são fases opostas das duas ondas, tem-se uma **interferência destrutiva**, ou seja, há um cancelamento das ondas.



Fonte: TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Physics for scientists and engineers*. 6. ed. Nova York: W. H. Freeman and Company, 2008.

Esquematização da análise da diferença de caminho por duas ondas que partem de pontos distintos e se encontram no ponto p .

Um dos casos em que difração e interferência ocorrem juntas, formando um padrão, é no experimento da fenda dupla proposto por Thomas Young (1773-1829). O experimento consiste em deixar uma onda luminosa monocromática (com apenas uma frequência ou comprimento de onda) atingir duas fendas separadas por uma pequena distância. Então, as ondas que, por causa da difração, saem coerentes das duas fendas, produzem um padrão de interferência que pode ser visto em um anteparo, conforme apresentado na figura a seguir.



Fonte: TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Physics for scientists and engineers*. 6. ed. Nova York: W. H. Freeman and Company, 2008.

Esse padrão indica franjas de interferência e mostra duas coisas: primeiro, que a luz tem comportamento ondulatório; depois, que o comprimento de onda da luz pode ser determinado se soubermos a distância entre as duas fendas, a distância da parede com fenda dupla até o anteparo e a medida em centímetros da distância entre duas franjas consecutivas. Por isso, o experimento de Young tem uma grande importância em muitas descobertas científicas na Física.

Esquematização da análise da diferença de caminho por duas ondas que partem de pontos distintos e se encontram no ponto p .

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Atividades comentadas

- Em um show, duas caixas de som estão posicionadas, uma de cada lado do palco. Essas caixas de som emitem sons de mesma frequência, em mesma fase. Uma pessoa que estiver no centro do palco ouve o som dessas caixas mais reforçado. Dando alguns passos para o lado, a pessoa praticamente não ouve esse som. Isso ocorre porque as ondas sonoras das duas caixas sofrem:
 - difração.
 - reflexão.
 - refração.
 - absorção.
 - interferência.

Resolução

Solução: Alternativa e.

No ponto médio do palco, o caminho das ondas sonoras das duas caixas que chegam até o observador é igual, por isso, como as ondas estão em fase, haverá uma interferência construtiva no ponto médio. Dando alguns passos para um dos lados, a diferença de caminho entre as duas ondas pode promover uma interferência destrutiva.

2. Um quebra-mar é uma construção, na forma de barragem, que tem a função de promover uma região segura para que barcos e navios possam atracar, entretanto, sabemos que, devido à difração, as ondas do mar podem contornar o quebra-mar. Então, para que o quebra-mar seja eficiente seu comprimento deve ser:
- menor que o comprimento de onda das ondas do mar.
 - maior que o comprimento de onda das ondas do mar.
 - menor que a amplitude das ondas do mar.
 - maior que a amplitude das ondas do mar.
 - igual à frequência das ondas do mar.

Resolução

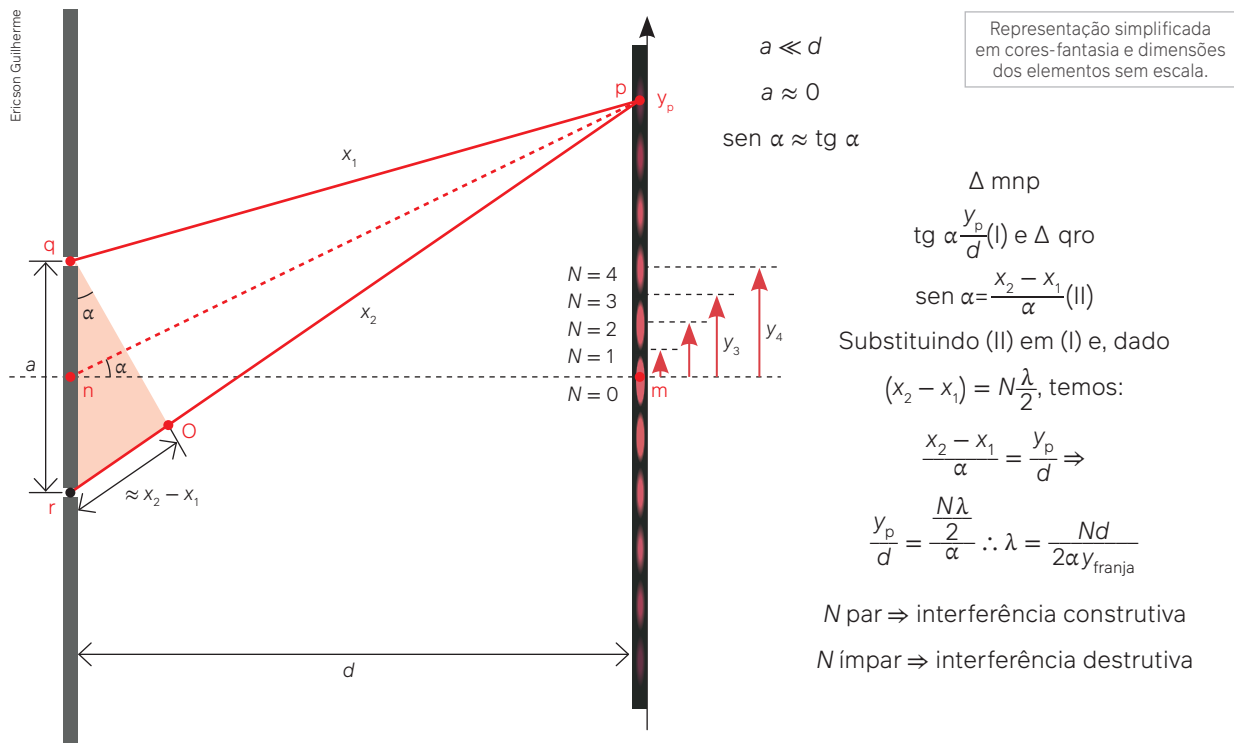
De acordo com o princípio de Huygens, a difração ocorre porque cada ponto da onda se comporta como uma nova fonte de ondas. Como consequência, se o comprimento do quebra-mar for menor que o comprimento de onda das ondas do mar, as ondas do mar contornarão o quebra-mar com muita facilidade. Então, para que a difração não seja acentuada, o comprimento do quebra-mar deve ser maior do que o comprimento de onda das ondas do mar.

Solução: Alternativa **b**.

Saiba mais

Determinando o comprimento de onda da luz utilizando um experimento de fenda dupla de Young

Dado que as franjas de interferência têm um padrão, é possível utilizar a distância de uma franja até a franja central (y) para calcularmos o comprimento de onda (λ) da luz. Para uma situação na qual a distância entre as fendas seja muito menor que a distância d entre as paredes, conforme é apresentado na figura a seguir, teremos uma aproximação possível entre seno e tangente pois os ângulos envolvidos serão muito pequenos.



Fonte: TIPLER, P. A.; MOSCA, G. *Physics for scientists and engineers*. 6. ed. Nova York: W. H. Freeman and Company, 2008.

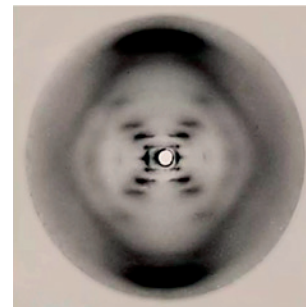
Determinação do comprimento de onda em função das franjas de interferência; à esquerda, o arranjo experimental com as variáveis relevantes; à direita, o cálculo de λ .

Embora este cálculo tenha uma abordagem mais técnica da sutileza do fenômeno, suas implicações são grandiosas. É possível calcular o comprimento de onda da luz por meio de um experimento de baixo custo e de simples montagem.

Difração, interferência e mulheres na ciência!

Diferentes técnicas de difração de radiação eletromagnética são utilizadas para se investigar a estrutura molecular dos materiais. Isso confere à ondulatória um status de grande relevância dentre os temas da Física. Sabemos que, para que a difração ocorra, a largura do obstáculo deve ser aproximadamente do tamanho do comprimento de onda da radiação utilizada, por isso, quando se quer investigar uma estrutura em nível molecular, a luz visível, por ter comprimento de onda bem maior que o tamanho de uma molécula, é substituída pelos raios X, essa sim uma radiação com comprimento de onda ideal para esse tipo de análise.

Dos diversos casos do uso de difração de raios X para análise de estrutura molecular, que incluem estudos dos cristais, como o diamante, podemos destacar um período na metade do século XX, no qual a ciência buscava uma explicação para a forma e a função da molécula de DNA. Uma imagem de difração de raios X, apresentada a seguir, configurou o centro de uma descoberta.



Reprodução da Foto 51, de Rosalind Franklyn, mostrando dois padrões com franjas de interferência, cruzados entre si.

Franklin & Gosling, Nature, 1953

[...] Nos arquivos da Universidade *King's College London*, no Reino Unido, está guardado o original de uma das fotos mais famosas da história da ciência.

A pequena chapa mede apenas cerca de 10 centímetros de cada lado, mas seu legado é gigantesco.

Não foi apenas uma peça-chave em uma das maiores descobertas do século 20. Também simboliza o talento e a dedicação de uma jovem cientista alvo do que muitos consideram uma injustiça “imperdoável”. [...]

[...] A imagem, que ela chamou de Foto 51, foi essencial para decifrar a estrutura do DNA, a molécula que transmite a informação genética e é responsável pela continuidade da vida.

Em 1962, a descoberta rendeu o Prêmio Nobel de Medicina a três cientistas: o geneticista americano James Watson [1928-] e os físicos britânicos Francis Crick [1916-2004] e Maurice Wilkins [1916-2004].

Franklin havia morrido quatro anos antes, sem saber o quão crucial fora sua contribuição para a descoberta. [...]

Quando a cerimônia de entrega do Prêmio Nobel foi realizada em 1962 — uma honraria que não é concedida postumamente —, nem Watson, nem Crick, nem Wilkins reconheceram em seus discursos a importância do trabalho de Franklin para a descoberta. [...]

O túmulo de Rosalind Franklin [1920-1958] está localizado no cemitério judaico de Willesden, no noroeste de Londres. No epitáfio, não há menção ao seu trabalho sobre DNA, mas pode-se ler:

“Cientista. Suas pesquisas e descobertas sobre vírus continuam a beneficiar a humanidade”.

Lourdes Campos é especialista em cristalografia de raios X e biologia molecular da Universidade Politécnica da Catalunha. Para ela, “o principal legado que Rosalind Franklin nos deixou foi seu trabalho e seu exemplo”.

“O amor pela ciência e seu trabalho altruísta em benefício da humanidade foram seus principais motores para enfrentar todas as adversidades que surgiram”, afirma.

“Rosalind viveu em uma época e em um país onde tinha tudo contra ela, o ambiente que ela vivia nos laboratórios ingleses era muito duro, agora chamaríamos isso de bullying. Não a levavam em consideração, era como se não existisse, e ainda por cima zombavam dela. Poucas mulheres suportariam esse tratamento, nem naquela época, nem agora. Mas aí temos ela como um grande exemplo de coragem e perseverança para atingir seus objetivos”. [...]

MARTINS, A. Foto 51: a fascinante história por trás da célebre imagem de Rosalind Franklin da estrutura do DNA. *BBC News Brasil*, [s. l.], 5 jun. 2022. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-61393662>. Acesso em: 28 ago. 2024.

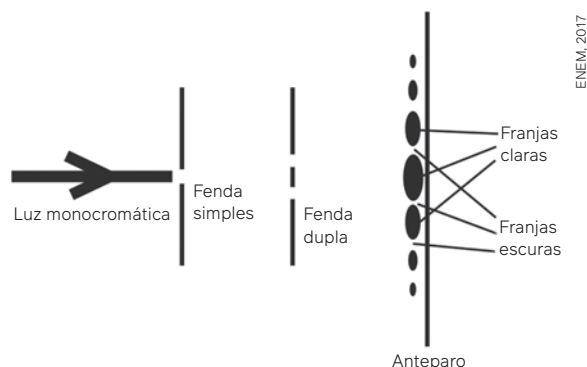
Trocando ideias



1. Observando a reprodução da Foto 51, de Rosalind Franklyn, avalie a necessidade de uso dos raios X para produzir a imagem.
2. Ainda na foto mencionada, por que aparecem manchas claras e escuras na imagem e por que aparecem em formato de “x”?
3. No trecho do texto, sugere-se que a importante contribuição de Rosalind Franklin para que a molécula de DNA fosse desvendada foi ignorada por pesquisadores contemporâneos a ela e que trabalhavam na mesma área, mesmo que esses pesquisadores tivessem se beneficiado dos resultados experimentais de Rosalind Franklyn para conclusão de suas pesquisas. Como você analisa o papel da diferença de gênero nessa exclusão?
4. Que soluções você proporia para que, na produção científica, as diferenças de gênero não representem diferenças de reconhecimento pelo trabalho realizado?



- (Enem – 2017) O debate a respeito da natureza da luz perdurou por séculos, oscilando entre a teoria corpuscular e a teoria ondulatória. No início do século XIX, Thomas Young, com a finalidade de auxiliar na discussão, realizou o experimento apresentando de forma simplificada na figura. Nele, um feixe de luz monocromático passa por dois anteparos com fendas muito pequenas. No primeiro anteparo há uma fenda e no segundo, duas fendas. Após passar pelo segundo conjunto de fendas, a luz forma um padrão com franjas claras e escuras. Com esse experimento, Young forneceu fortes argumentos para uma interpretação a respeito da natureza da luz, baseada em uma teoria
 - corpuscular, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer dispersão e refração.
 - corpuscular, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer dispersão e reflexão.
 - ondulatória, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer difração e polarização.
 - ondulatória, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer interferência e reflexão.
 - ondulatória, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer difração e interferência.
- (UFG – 2010) Uma estação de rádio emite ondas médias na faixa de 1 MHz com comprimento de onda de 300 m. Essa radiação contorna facilmente obstáculos como casas, carros, árvores, etc., devido ao fenômeno físico da
 - difração.
 - refração.
 - reflexão.
 - interferência.
 - difusão.



Diagnóstico por imagens e ondas eletromagnéticas

Raios X e tomografia

Os raios X são ondas eletromagnéticas com frequência maiores do que a do ultravioleta e menores que a dos raios γ . De um lado, são ondas com alta energia, que podem nos causar danos se formos expostos a elas por muito tempo; por outro, os raios X são ondas eletromagnéticas que atravessam nossos tecidos macios com muita facilidade, mas não atravessam tão bem nossos ossos, pelo fato deles conterem grande quantidade de cálcio, cujo número atômico é maior do que a maior parte dos componentes dos outros tecidos e, por isso, absorvem esses raios.

Imagem de raios X

A formação da imagem por raios X demanda a absorção de parte da radiação pelos ossos e a pouca absorção de radiação por outros tecidos. Como consequência, ao atravessar nossa mão, por exemplo, a maior parte da radiação atravessará nossa pele e nossos músculos, atingindo uma chapa fotossensível ou um sensor digital, escurecendo a chapa nessas regiões. Onde há osso, no entanto, pouca radiação atravessará, e a chapa ficará mais clara.

O uso dos raios X representam um avanço tecnológico muito grande na medicina. Foi somente a partir do seu uso, principalmente com os estudos de Pierre Curie (1859-1906) e de Marie Skłodowska-Curie (1867-1934) que uma visão do interior do nosso corpo passou a ser possível sem que precisássemos.



Imagem de raios X de uma mão com destaque nas regiões mais claras, indicando os ossos e os sombreados sutis.

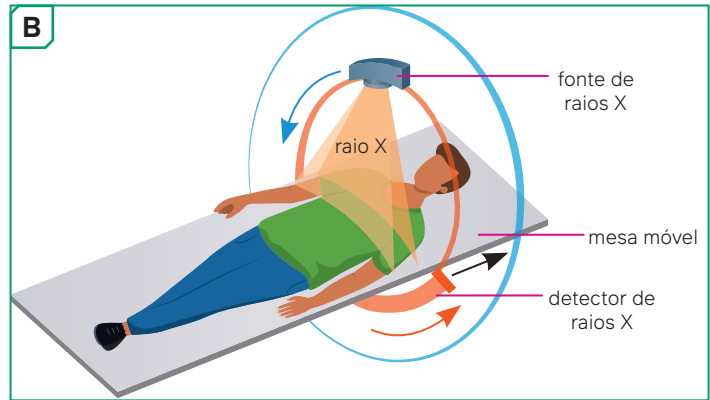
MattL_Images/Shutterstock.com

Tomografia: uma fonte de raios X que gira em volta do corpo

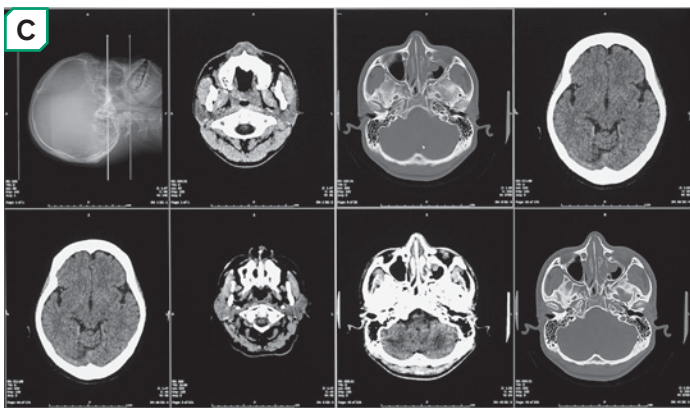
Uma das limitações do exame de raios X convencional é que ele produz sombras planas. Nessas sombras, partes internas do nosso corpo podem se sobrepor na imagem, revelando somente uma projeção plana de uma estrutura que, na verdade, é tridimensional. Para superar essa limitação, o diagnóstico por tomografia computadorizada usa uma fonte de raios X que gira em torno do corpo de um paciente.



zilkovec/Shutterstock.com



Ericson Guilherme



NaNahara Sung/Shutterstock.com

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Equipamento de tomografia (A); Esquema de funcionamento da fonte de raios X em torno do paciente (B); Imagem gerada pelo equipamento de tomografia (C).

Então, uma mesa móvel leva o corpo que se quer diagnosticar a passar pelo anel da máquina que, constantemente, registra diversas imagens em torno de uma seção do corpo. Posteriormente, essas imagens são reconstruídas por algoritmos computacionais, indicando com mais detalhes, em comparação ao exame de raios X comum, uma imagem das estruturas internas do corpo.

Ressonância e exame de ressonância magnética

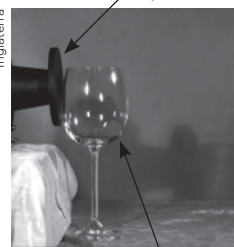
Ressonância de ondas

Um fenômeno ondulatório marcante ocorre quando um sistema em repouso é posto a oscilar por influência de uma onda. Cada sistema físico, seja ele mecânico ou eletromagnético, possui uma frequência natural de vibração: cada uma das cordas do violão vibra com uma frequência natural própria; cada pêndulo oscila com uma frequência própria; moléculas oscilam com frequências próprias; e sempre que uma onda possui a mesma frequência da frequência natural de vibração de um sistema, essa onda é capaz de fazer o sistema oscilar.

Se apenas uma das seis cordas do violão estiver afinada para vibrar 100 vezes por segundo ($f = 100$ Hz) e uma corneta próxima ao violão emitir um som com mesma frequência, essa corda vibrará por ressonância, e nenhuma das outras cordas vibrará. O mesmo acontece se um som emitido próximo a uma taça de cristal tiver a mesma frequência que sua frequência natural (também chamada de frequência fundamental) de vibração. Por consequência, ela se quebrará.

alto-falante emitindo som de mesma frequência " f "

©Trevor Cox/Engenharia Acústica e de Audio, Universidade de Salford, Inglaterra



©Trevor Cox/Engenharia Acústica e de Audio, Universidade de Salford, Inglaterra

taça com frequência natural de vibração " f " conhecida

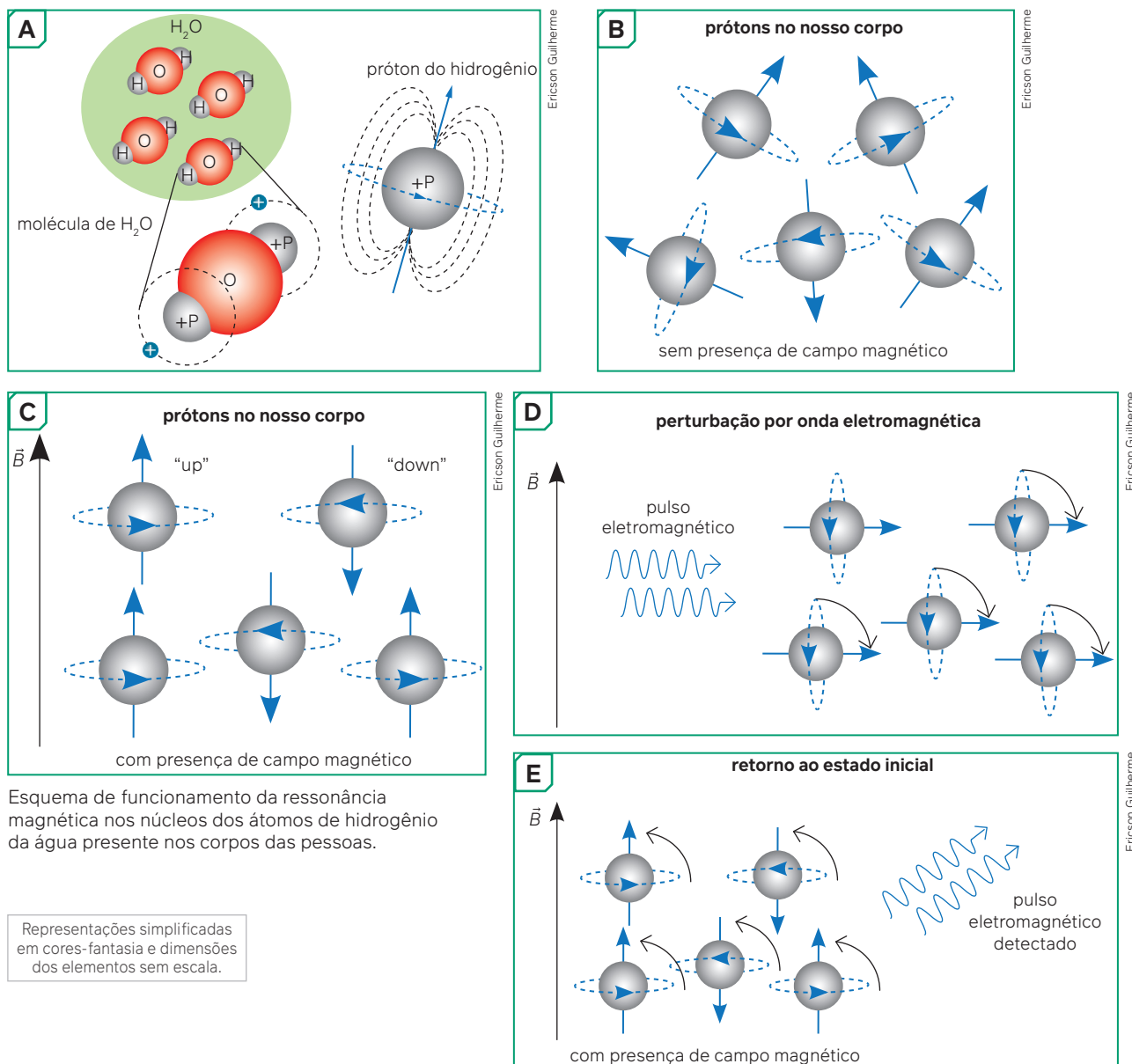
Taça se quebrando por ressonância.

Imagem por ressonância magnética nuclear

Embora uma máquina de imagem por ressonância magnética possa se parecer com uma de tomografia computadorizada, há grandes diferenças, tanto em suas construções quanto em seus funcionamentos. Em uma máquina de ressonância magnética (RM), o grande anel que vemos é um poderoso ímã, que produz um campo magnético milhares de vezes mais intenso que o campo magnético da superfície do planeta Terra.

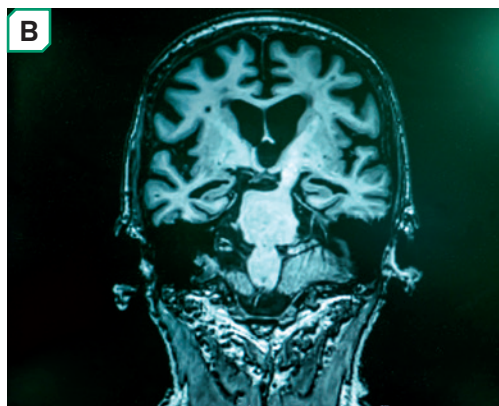
Como grande parte de nosso corpo é composta de água e cada molécula de água possui dois átomos de hidrogênio, o momento magnético (*spin*) dos prótons no núcleo do átomo de hidrogênio (A) pode ser utilizado para que ondas eletromagnéticas detectáveis sejam produzidas a partir da ressonância.

Quando nosso corpo não está sob a ação de nenhum campo magnético forte, os prótons dos átomos de hidrogênio em nós estão com seus *spins* desorganizados (B). Ao entrar na máquina de RM, nosso corpo é submetido a um intenso campo magnético, capaz de alinhar grande parte dos *spins* dos prótons de nossos átomos de hidrogênio (C).



Fonte: BROADHOUSE, K. M. The Physics of MRI and How We Use It to Reveal the Mysteries of the Mind. *Frontiers for Young Minds*, [s. l.], 1 mar. 2019. Disponível em: <https://kids.frontiersin.org/articles/10.3389/frym.2019.00023>. Acesso em: 16 ago. 2024.

A máquina de RM emite uma onda eletromagnética ressonante que desloca os *spins* dos prótons (D). Assim que essa onda se encerra, os prótons retornam seus *spins* ao estado anterior, emitindo uma onda eletromagnética (E) que é recebida de volta por sensores da máquina de RM e são utilizados para obtenção de uma imagem de grande precisão das estruturas internas de nosso corpo.



Atthapon Raksthaput/Shutterstock.com

Máquina de exame de ressonância magnética (A) e imagem de ressonância magnética do crânio de um ser humano (B).

Diferente da tomografia, o exame de ressonância magnética não utiliza raios X ou outras radiações ionizantes. Por isso, não é preocupante que se realize muitas sessões seguidas de exames de ressonância magnética em um paciente, por outro lado, a quantidade de tomografias que um paciente executa deve ser controlada para se evitar que altas doses de raios X sejam recebidas em um curto intervalo de tempo.

Atividades propostas



1. Dois diapasões diferentes, A e B, estão próximos um do outro. Uma pessoa provoca um som no diapasão A, e o diapasão B começa a também vibrar por ressonância.

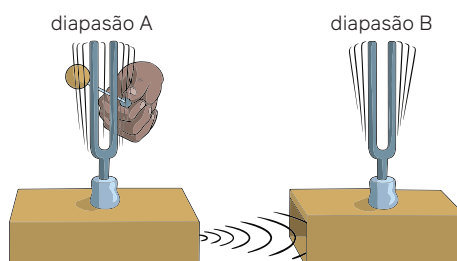
O fenômeno físico descrito ocorre porque os dois diapasões:

- vibram na mesma amplitude de vibração.
- vibram com o mesmo índice de refração.
- vibram na mesma frequência de vibração.
- vibram com o mesmo comprimento de onda.
- vibram na mesma intensidade sonora.

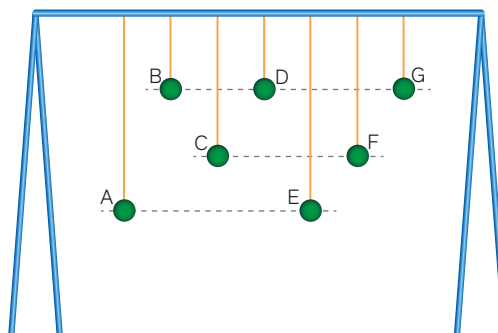
2. Em uma exposição artística, um varal é montado com seis pêndulos (A, B, ..., G), conforme a figura. As massas de A, C, D e G têm valor m . As massas de B, E e F valem $2m$. Uma pessoa, então, balança o pêndulo B. Responda às questões a seguir:

- que outros pêndulos balançarão juntos com B?
- por quê?

3. Explique o porquê o exame de imagem por ressonância magnética nuclear necessita de ímãs potentes para seu funcionamento.



TDPStudio



TDPStudio

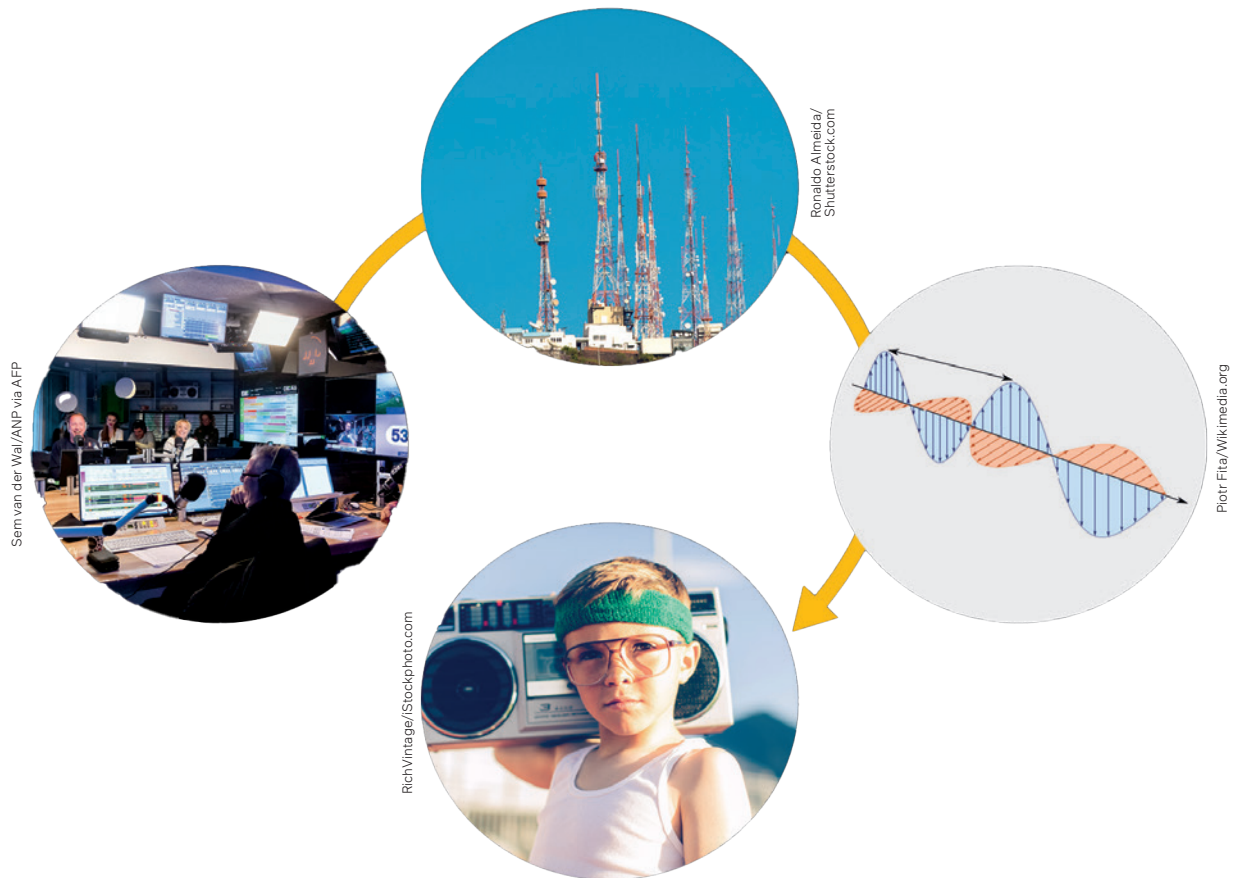
Recapitule

Neste capítulo, exploramos outros fenômenos ondulatórios e suas aplicações em situações de obtenção de imagens em exames médicos, análise de estruturas do DNA e até da nossa segurança na praia. Conhecermos ondas e fenômenos ondulatórios nos faz ver o mundo ao nosso redor de modo mais cuidadoso e nos permite admirar fenômenos que, sem esses conhecimentos nos passaríamos despercebidos.

Agora, retome as questões do início do capítulo e reavalie suas respostas. Após, considerando tudo que vimos neste capítulo, responda a questões a seguir:

- Por que algumas clínicas que realizam exames de ressonância magnética se intitulam como clínicas de “medicina nuclear”?
- Considerando o alto custo de máquinas como tomógrafo e de ressonância magnética, como poderíamos ampliar o acesso da população brasileira a esse tipo de exame?

Ondas e telecomunicações



Esquema que representa o ciclo de telecomunicações via rádio, indicando diferentes etapas que incluem emissão, transmissão por antenas via ondas eletromagnéticas e captação por um aparelho que reproduz a informação.

▼ Para refletir

1. Por que conseguimos realizar pagamentos com cartão sem tocar a máquina de pagamentos? Há baterias dentro do cartão?
2. Se as ondas eletromagnéticas se propagam em linha reta, como enviar um sinal de rádio para outro continente, uma vez que a Terra é esférica?
3. O som é uma onda mecânica, no entanto, ouvimos músicas no rádio, e as ondas de rádio são eletromagnéticas. Como é possível fazer o som viajar usando ondas eletromagnéticas?

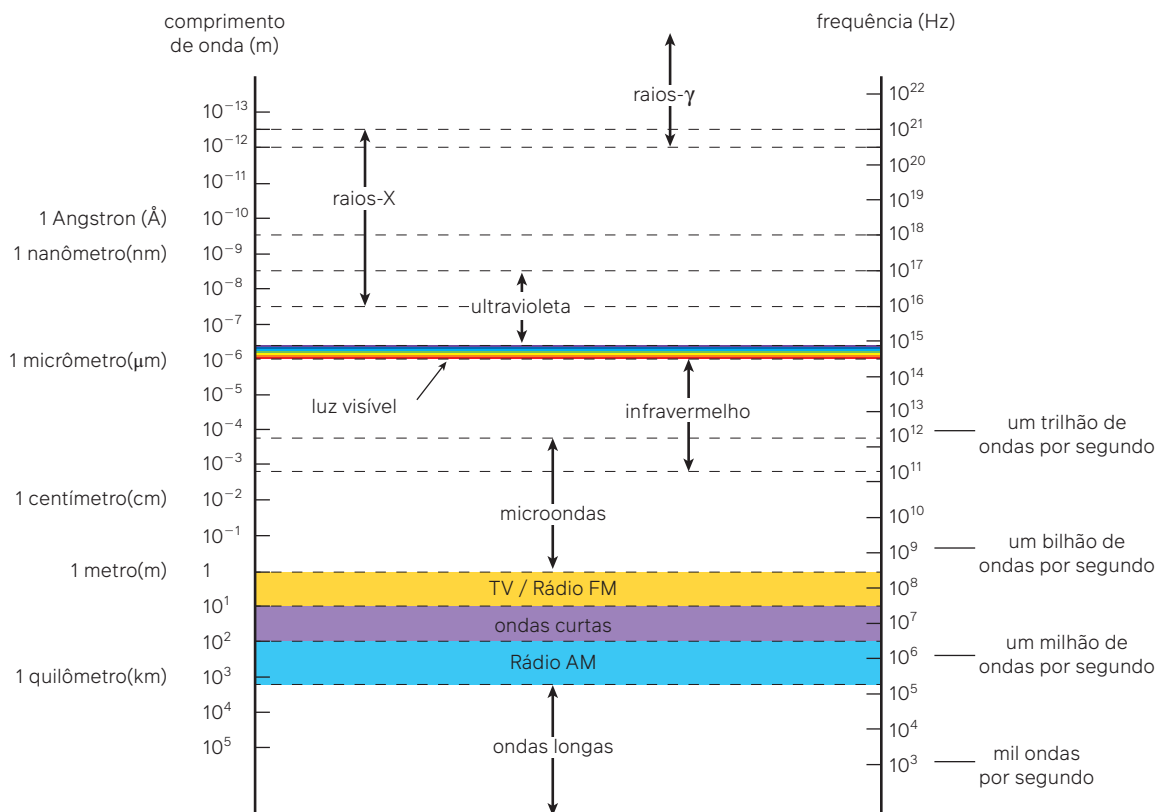
Objetivos do capítulo

- Reconhecer diferentes faixas do espectro eletromagnético.
- Compreender o processo histórico do surgimento das telecomunicações via rádio e seus impactos na vida cotidiana.
- Aplicar conhecimentos de ondulatória para utilização consciente dos processos de telecomunicação.
- Construir um receptor de rádio e analisar seu funcionamento.
- Avaliar vantagens e desvantagens das formas atuais de uso de capital via ondas eletromagnéticas.

Espectro eletromagnético

Ondas de diferentes frequências, mas de mesma natureza

A luz visível é, possivelmente, a faixa do espectro eletromagnético que mais percebemos no dia a dia. Entretanto, ela representa uma estreita faixa dentro das diferentes frequências de ondas eletromagnéticas. Ondas de raios X, ondas de rádio e TV e mesmo ondas de um forno de micro-ondas são ondas da mesma natureza que a luz visível. São todas ondas eletromagnéticas.



Reinaldo Vignatti

Representação do espectro eletromagnético.

Fonte: STARK, G. X-ray. *Encyclopedia Britannica*, [s. l.], 7 jun. 2024. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/X-ray>. Acesso em: 2 set. 2024.

A faixa de radiação abaixo do infravermelho corresponde às ondas que tipicamente são utilizadas na telecomunicação. Essas ondas têm energia relativamente baixa, não representando danos às estruturas atômicas dos seres vivos. Por isso, são chamadas de **radiação não ionizante**. A radiação de frequência acima da luz visível tem energia mais alta, sendo capaz de produzir mudanças de estruturas nos átomos e, por isso, são chamadas de **radiações ionizantes**. Há emissão de partículas chamadas "alfa" e "beta" que também são chamadas de radiação ionizante. Contudo, neste capítulo, trataremos apenas dos fótons de alta energia, ou seja, das ondas eletromagnéticas de frequência mais alta que a luz visível.

Há um questionamento possível sobre a influência da radiação eletromagnética das telecomunicações na vida. No entanto, uma vez que os processos de telecomunicação são feitos por radiação eletromagnética não ionizante, a estrutura atômica do corpo não é alterada. Por isso, mesmo tendo milhares de diferentes radiações ao redor, não percebemos seus efeitos.

Mesmo assim, independente da frequência, toda onda eletromagnética se propaga, no vácuo, com a velocidade c .

$$v = \lambda \cdot f \text{ (qualquer onda)}$$

$$c = \lambda \cdot f \text{ (ondas eletromagnéticas no vácuo)}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s (velocidade aproximada da luz no vácuo)}$$

Uma vez que qualquer radiação eletromagnética se propaga no vácuo com a mesma velocidade, quanto maior for a frequência da onda, menor será seu comprimento de onda.

► Ciências da Natureza

O estudo sobre radiações ionizantes pode ser aprofundado no **Capítulo 2** do **volume de Química**.

Radiações ionizantes e não ionizantes no dia a dia

As radiações ionizantes têm energia suficiente para remover elétrons dos átomos, resultando na ionização dos elementos. Isso as torna capazes de causar danos ao material biológico, mas elas também têm muitas aplicações benéficas no dia a dia.

- **Raios X na medicina:** utilizados em exames médicos, como radiografias e tomografias, para obter imagens detalhadas do interior do corpo humano. Esses exames são essenciais para o diagnóstico e tratamento de diversas condições de saúde.
- **Radioterapia:** utilizada no tratamento de vários tipos de câncer, no qual raios gama ou partículas ionizantes destroem células cancerosas.
- **Detectores de fumaça:** alguns detectores de fumaça usam uma pequena quantidade de material radioativo (como o amerício-241) para ionizar o ar e detectar a presença de fumaça.

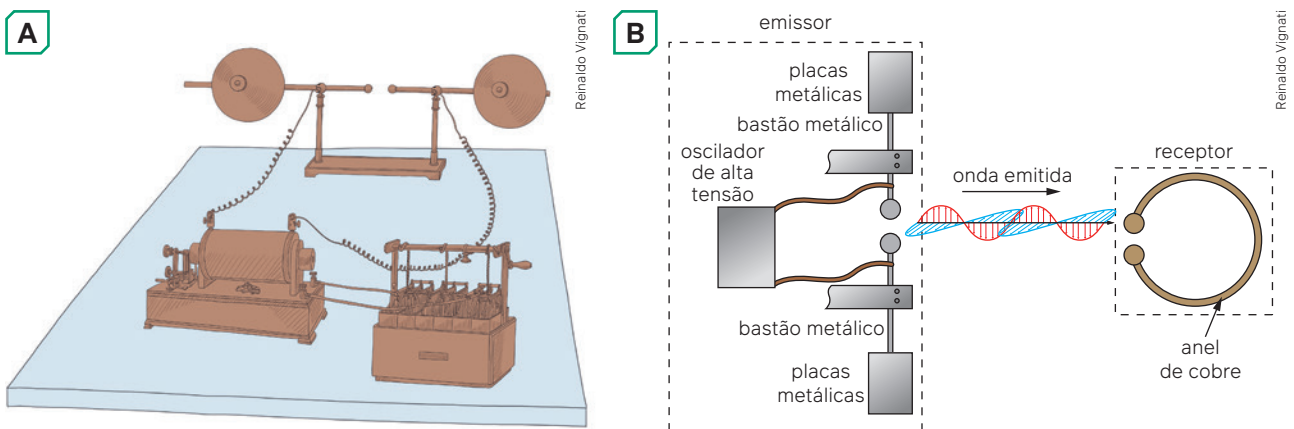
As radiações não ionizantes têm menos energia e não são capazes de ionizar átomos. Elas são amplamente usadas em muitas tecnologias cotidianas e geralmente são consideradas menos perigosas do que as radiações ionizantes.

- **Micro-ondas:** utilizadas em fornos de micro-ondas para aquecer alimentos, as micro-ondas fazem com que as moléculas de água nos alimentos vibrem, gerando calor.
- **Rádio e TV:** ondas de rádio são usadas para transmitir sinais de rádio e televisão, permitindo a comunicação e o entretenimento em larga escala.
- **Wi-Fi e telefonia móvel:** usam ondas de rádio e também micro-ondas para transmitir dados sem fio, conectando dispositivos à internet e permitindo chamadas telefônicas.
- **Infravermelho:** utilizado em controles remotos, câmeras de visão noturna e sensores de movimento, as ondas infravermelhas também são emitidas por corpos quentes, o que permite sua detecção por sensores térmicos.
- **Luz visível:** a forma de radiação não ionizante mais comum, que nos permite ver o mundo ao redor. A luz visível é fundamental para todas as atividades diárias que envolvem visão.

Onda eletromagnética: de uma teoria a um experimento

As ondas eletromagnéticas são geradas por diferentes processos: decaimentos nucleares de materiais radioativos, fusão nuclear no interior de estrelas e excitação de cargas elétricas em condutores metálicos são alguns desses processos. Contudo, para utilizarmos ondas eletromagnéticas em telecomunicações, precisamos associar essas ondas a algum circuito eletrônico.

Em meados dos anos de 1800, o físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) havia proposto um modelo teórico acerca de como as ondas eletromagnéticas se propagam a partir de noções de indução eletromagnética. Essa proposta teórica precisaria de uma confirmação experimental que verificasse o modelo. Foi pelas mãos do físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894) que, na segunda metade da década de 1880, esse experimento ganhou forma. Usando um oscilador elétrico acoplado a uma haste metálica, Hertz mostrou que era possível transmitir energia elétrica a outra haste metálica, mesmo sem contato. Nascia ali o que podemos chamar de primeiro sistema *wireless* da história. A palavra *wireless*, em inglês, significa “sem fio”.



Aparato semelhante ao utilizado por Hertz sobre uma mesa (A) e esquema de emissão e recepção das ondas eletromagnéticas (B).

Com o experimento de Hertz, as faíscas produzidas no emissor indicavam oscilações de cargas elétricas nos bastões metálicos. Essa oscilação produzia ondas eletromagnéticas que eram transmitidas pelo ar. A variação dos campos elétrico e magnético dessas ondas fazia com que os elétrons do anel de cobre (receptor) oscilassem, produzindo uma faísca entre os polos dele. Com isso, demonstrava-se que a energia era transmitida por uma distância de alguns metros, sem utilizar nenhum fio, apenas utilizando a propagação de uma onda eletromagnética pelo ar.

À época, não se tinha uma utilidade imediata para esse fenômeno, mas com desenvolvimentos feitos por outros cientistas, chegou-se ao que temos atualmente como o Bluetooth e o *wi-fi* dos aparelhos eletrônicos.

Emissão e recepção de ondas eletromagnéticas: nasce o rádio

Anos depois, tanto o experimento de Hertz quanto o modelo matemático de Maxwell foram utilizados para permitir que ondas eletromagnéticas transmitissem informações de telégrafo sem o uso de fios. Usando essencialmente o mesmo princípio, um oscilador elétrico ligado a hastes metálicas (que hoje reconhecemos como antenas) emitiam uma onda eletromagnética que era recebida por outra antena, registrando a mensagem do telégrafo. A transmissão do telégrafo sem fio é considerada como a primeira transmissão de rádio da história. O feito rendeu a dois físicos, o italiano Guglielmo Marconi (1874-1937) e o alemão Karl Ferdinand Braun (1850-1918), o prêmio Nobel de Física do ano de 1909.

O desenvolvimento do processo de transmissão/recepção de ondas eletromagnéticas ocorre até os dias atuais. Mas a virada do século XIX para o XX representou um *boom* nesse desenvolvimento. Primeiro com os esforços para se transmitir telégrafo a distâncias cada vez maiores como de um lado a outro do oceano atlântico; para esse tipo de transmissão, a curvatura da Terra representava um problema. Depois, com a possibilidade de transmissão de sons audíveis e sua recepção. Mas como transformar um pulso elétrico em som que é possível ouvir e entender? Esse foi também um desafio a ser superado. Mais à frente, já no século XX, outros desafios surgiram: Como enviar um dado numérico por ondas eletromagnéticas? Como enviar uma imagem por ondas eletromagnéticas? Como enviar um vídeo por ondas eletromagnéticas?

A superação de todos esses desafios listados moldou o modo de interagirmos com o mundo, encurtaram distâncias e permitiram que a comunicação humana chegasse a um patamar inimaginável, mas também sem retorno. Dependemos das ondas eletromagnéticas para transações bancárias, para mandarmos mensagens por celular, até para pagarmos uma pequena compra de pães na padaria.

Atividades comentadas

1. As estações de rádio AM são emissoras que operam com ondas na faixa de 500 kHz a 1600 kHz. Já as estações de rádio FM operam com ondas de frequências entre 87,5 MHz e 107,9 MHz. Com base nessas informações, podemos afirmar que as ondas de FM, comparadas às ondas de AM, têm:

- a) menor comprimento de onda.
- b) menor frequência.
- c) maior amplitude.
- d) maior interferência.
- e) menor absorção.

Resolução

Ondas de rádio AM que operam frequências da ordem de kHz (mil hertz) têm frequência menor que ondas de frequência na ordem de MHz (milhão de hertz). Isso significa que as ondas de FM têm frequência maior que as ondas de AM. Porém, a velocidade das ondas eletromagnéticas no ar é praticamente a mesma para todo o espectro eletromagnético. Com

isso, as ondas de rádio FM, com maior frequência, têm menor comprimento de onda. Portanto, a resposta correta é a alternativa **a**.

2. Qual é o comprimento de onda de uma rádio popular em uma cidade que utiliza frequência de 1500 kHz, sabendo que a velocidade das ondas eletromagnéticas no ar é $c = 300\,000$ km/s?

Resolução

Transformando todas as grandezas para o Sistema Internacional de Unidades, temos:

Velocidade das ondas eletromagnéticas:

$$c = 300\,000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Frequência utilizada:

$$f = 1500 \text{ kHz} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ kHz} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

Assim:

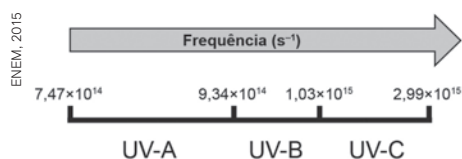
$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow 3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 1,5 \cdot 10^6 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{1,5 \cdot 10^6} \therefore \lambda = 200 \text{ m}$$

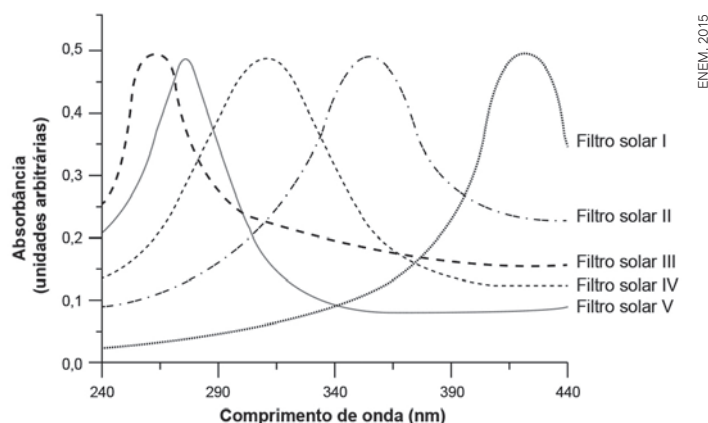
Portanto, o comprimento de onda dessa rádio é de 200 metros.



- Para que um aparelho de telefone celular consiga se comunicar com uma torre de telefonia, é necessário que ondas eletromagnéticas sejam trocadas entre ambos. No entanto, dois aparelhos de telefonia celular se comunicam com uma torre, mas não têm interferência entre si. O que permite essa comunicação sem interferência é o fato de que as ondas eletromagnéticas:
 - possuem uma velocidade específica para cada aparelho.
 - possuem uma amplitude específica para cada aparelho.
 - possuem um índice de refração específico para cada aparelho.
 - possuem uma fase específica para cada aparelho.
 - possuem uma frequência específica para cada aparelho.
- (Enem – 2009) O progresso da tecnologia introduziu diversos artefatos geradores de campos eletromagnéticos. Uma das mais empregadas invenções nessa área são os telefones celulares e *smartphones*. As tecnologias de transmissão de celular atualmente em uso no Brasil contemplam dois sistemas. O primeiro deles é operado entre as frequências de 800 MHz e 900 MHz e constitui os chamados sistemas TDMA/CDMA. Já a tecnologia GSM, ocupa a frequência de 1 800 MHz. Considerando que a intensidade de transmissão e o nível de recepção “celular” sejam os mesmos para as tecnologias de transmissão TDMA/CDMA ou GSM, se um engenheiro tiver de escolher entre as duas tecnologias para obter a mesma cobertura, levando em consideração apenas o número de antenas em uma região, ele deverá escolher:
 - a tecnologia GSM, pois é a que opera com ondas de maior comprimento de onda.
 - a tecnologia TDMA/CDMA, pois é a que apresenta Efeito Doppler mais pronunciado.
 - a tecnologia GSM, pois é a que utiliza ondas que se propagam com maior velocidade.
 - qualquer uma das duas, pois as diferenças nas frequências são compensadas pelas diferenças nos comprimentos de onda.
 - qualquer uma das duas, pois nesse caso as intensidades decaem igualmente da mesma forma, independentemente da frequência.
- Um forno de micro-ondas é utilizado para aquecer os alimentos. Explique como é possível que os alimentos se aqueçam, uma vez que não há uma chama acesa dentro desse tipo de forno.
- (Enem – 2015) A radiação ultravioleta (UV) é dividida, de acordo com três faixas de frequência, em UV-A, UV-B e UV-C, conforme a figura.



Para selecionar um filtro solar que apresente absorção máxima na faixa UV-B, uma pessoa analisou os espectros de absorção da radiação UV de cinco filtros solares.



O filtro solar que a pessoa deve selecionar é o

- V.
- IV.
- III.
- II.
- I.

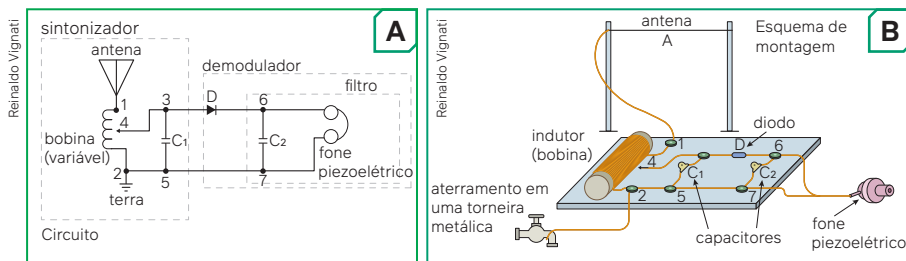
Captando e sintonizando ondas eletromagnéticas com um rádio de galena

Em todas as casas, os mais diversos aparelhos emitem ondas eletromagnéticas. Um liquidificador, por exemplo, quando seu motor gira, tem produção de faíscas em seu interior por causa da oscilação de cargas elétricas. Se um rádio de frequência AM estiver ligado próximo ao liquidificador, sua sintonia sofrerá interferência das ondas geradas pelo liquidificador.

Todo circuito elétrico oscilante gerará ondas eletromagnéticas. O desafio é encontrar a frequência adequada e a intensidade desejada da onda eletromagnética produzida. Por isso, os emissores de ondas de rádio possuem circuitos cuidadosamente construídos para isso. Outro desafio é construir um segundo circuito que opere oscilando na mesma frequência de oscilação das ondas emitidas para que seja possível sintonizar a recepção delas.

Nesta atividade, construiremos um receptor de ondas de rádio simples, feito com poucos componentes eletrônicos, mas que, ainda assim, sintoniza ondas de rádio de estações próximas.

O tipo de aparelho sintonizador que vamos construir nesta proposta não precisa de uma fonte de energia; ele utiliza a própria energia das ondas eletromagnéticas para produzir som no alto-falante. Esse tipo de aparelho de rádio é chamado “rádio de cristal” ou “rádio de galena” e pode ser construído mesmo sem que se tenha experiência com eletrônica. O circuito elétrico e o esquema de montagem estão representados na figura a seguir.



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Fonte: O RÁDIO Galena. *Radioescotismo RJ*, Rio de Janeiro, 20 fev. 2014. Adaptado. Disponível em: <https://www.radioescotismorj.com/web/o-radio-galena/>. Acesso em: 1 set. 2024.

Circuito eletrônico de um rádio de galena (A) com destaque para a região responsável pela sintonização das ondas, pela demodulação e pela filtragem; em (B), um esquema de união dos fios e dos componentes necessários para a montagem.

Para a construção do circuito, alguns componentes eletrônicos devem ser selecionados, podendo ser adquiridos em lojas de peças eletrônicas ou retirados de aparelhos eletrônicos sem uso, desde que contando com o auxílio de um especialista para que se evite o risco de choque elétrico.

Material:

- D: Um diodo de germânio (especificação 1n34) ou um diodo tipo schottky (especificação sb5100);
- C₁: Um capacitor de 100 pF (especificação 103);
- C₂: Um capacitor de 270 pF (especificação 271);
- 20 cm de cano de PVC (para enrolar o fio da bobina);
- uma cápsula de fone de cristal (fone piezoelétrico);
- 100 m de fio de cobre esmaltado (especificação AWG 28 ou AWG 30);
- lixa;
- solda para conectar os componentes ou placa de protótipos (*protoboard*) para fazer a conexão sem solda.

Procedimento

1. **Enrolando a bobina:** Enrole o fio de cobre em torno do pedaço do cano de PVC mantendo voltas bem justas e deixando uma das pontas comprida para conectar ao aterramento.
2. **Lixando os contatos da bobina:** Na parte de cima do enrolamento, lixe as voltas da bobina até que se tire o esmalte apenas da parte superior em todos os elos.
3. **Conectando o circuito:** Prepare um pequeno pedaço de fio para ser o contato variável da bobina (representado pelo ponto 4 no circuito); então, conecte os capacitores C₁ e C₂, o diodo D e o fone de cristal. Leve uma extensão do fio representado pelo ponto 2 até uma torneira ou até uma haste de aterramento enterrada no solo. Estique uma antena com comprimento de aproximadamente 4 m ou mais, como um varal, utilizando o fio que sobrou do enrolamento da bobina, e conecte ao ponto 1 do circuito.
4. **Sintonizando:** Coloque o fone de ouvido na orelha e lentamente mude a haste do ponto 4 do circuito, arrastando do início ao fim da bobina até encontrar uma posição em que seja possível escutar uma estação de rádio.

1. Por que a captação de uma estação de rádio só se dá em um ponto da bobina?
2. Qual é o fenômeno ondulatório característico da sintonia das ondas de rádio?

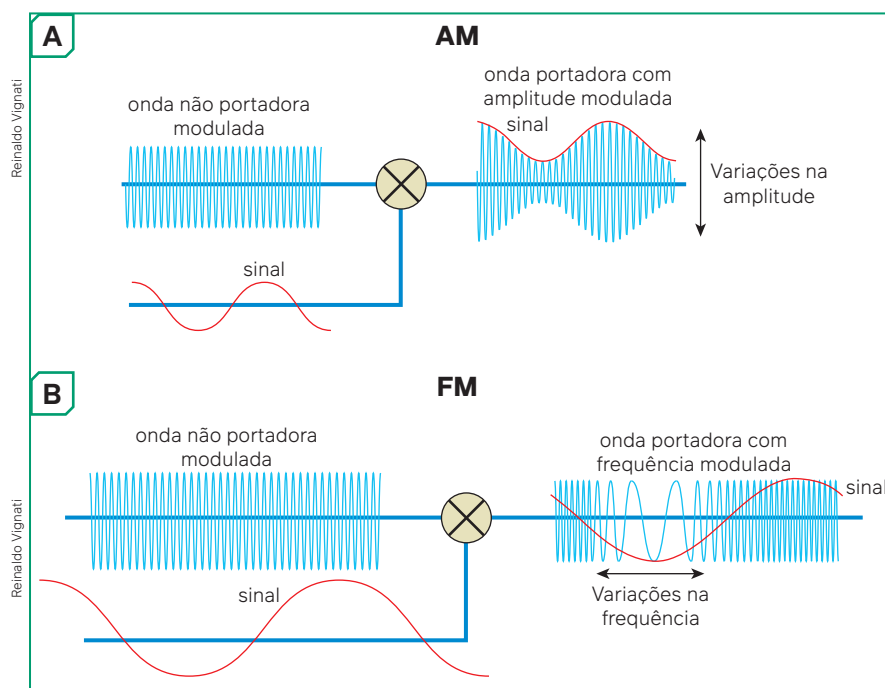
Saiba mais

Modulação de sinal: a diferença entre rádio AM e rádio FM

Como converter o som em ondas eletromagnéticas? Sabemos que cada estação de rádio se diferencia por sua frequência de ondas eletromagnéticas emitidas. Mas a emissão de ondas de rádio tem duas bandas mais comuns. A faixa de rádios AM tem este nome por causa do termo "Amplitude Modulada", enquanto os rádios FM possuem "Frequência Modulada".

O ser humano percebe ondas sonoras (que são mecânicas) com frequências de 20 Hz até 20 000 Hz. As ondas de rádio (que são eletromagnéticas), têm frequências milhares (às vezes milhões) de vezes esses valores. Então, para incluir um sinal sonoro em uma onda de rádio, produz-se uma variação em alguma das grandezas da onda eletromagnética. Esse processo é chamado de **modulação de sinal**.

É possível modular a amplitude de uma onda eletromagnética (chamada de onda portadora), introduzindo uma perturbação na amplitude que corresponde ao sinal de áudio que se quer transmitir. Por outro lado, é possível modular a frequência introduzindo uma perturbação no número de ciclos por segundo de uma onda portadora, fazendo com que a variação de frequência corresponda ao sinal de áudio que se quer transmitir, conforme pode ser observado na figura a seguir.



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Esquema de modulação de sinal por processos AM – amplitude modulada (A) e FM – frequência modulada (B).

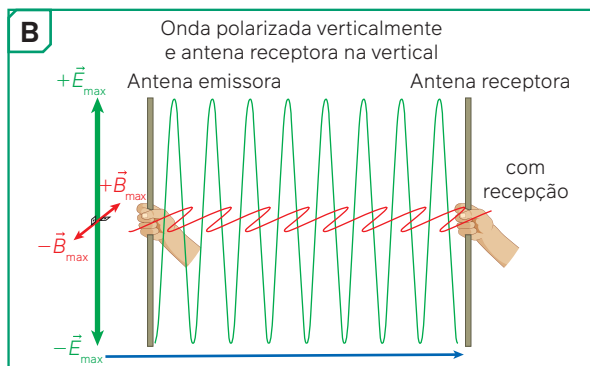
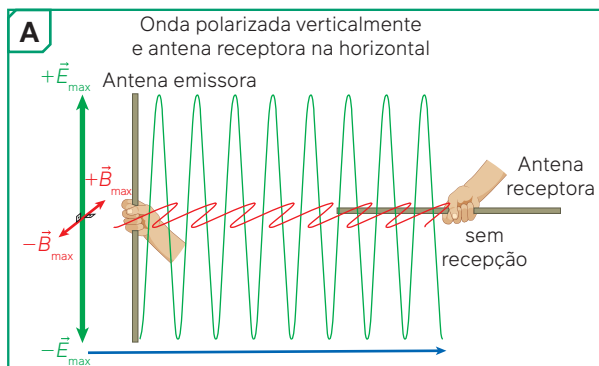
Fonte: QUINTANILLA, J. *et al.* Instantaneous Amplitude and Frequency Modulations Detect The Footprint of Rotational Activity and Reveal Stable Driver Regions as Targets for Persistent Atrial Fibrillation Ablation. *ResearchGate*, Madri, n. 125, ago. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334847965-Instantaneous_Amplitude_and_Frequency_Modulations_Detect_The_Footprint_of_Rotational_Activity_and_Reveal_Stable_Driver_Regions_as_Targets_for_Persistent_Atrial_Fibrillation_Ablation. (Tradução nossa). Acesso em: 3 set. 2024.

O que queremos ouvir nos aparelhos de rádio é um som emitido de outro local. Por isso, é preciso sintonizar os aparelhos na mesma frequência da onda portadora. Então, utilizar um circuito eletrônico (ou um *software* de computador) para extrair da onda modulada somente o sinal que interessa. Esse processo é chamado de **demodulação**.

Do mesmo modo que um sinal sonoro pode ser introduzido pelo processo de modulação e depois extraído pelo processo de demodulação, um sinal digital (contendo informações de 0 e 1) pode ser transmitido. Por isso, em outras frequências, não apenas som ou imagem, mas também dados podem ser transmitidos via ondas eletromagnéticas.

Polarização

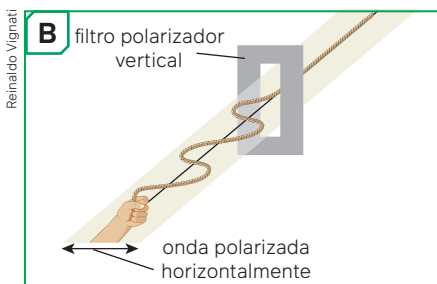
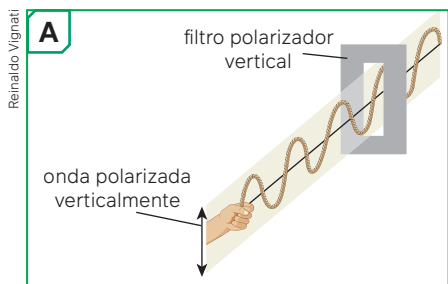
Ondas eletromagnéticas são ondas transversais, ou seja, enquanto se propagam em uma direção, a oscilação do campo elétrico ocorre em direção perpendicular. Isso tem consequências na possibilidade de se captar ondas com um aparelho de rádio. Por exemplo, se uma antena de AM estiver na vertical, a oscilação das cargas elétricas nessa antena perturbará o campo elétrico também na vertical. Por indução eletromagnética, o campo magnético oscilará na horizontal de um lado para o outro, e a onda se propagará na horizontal para frente. Em ondas eletromagnéticas, a variação do campo elétrico tem magnitude sempre muito maior que a variação do campo magnético. Embora as duas ondas (elétrica e magnética) sempre ocorram juntas, indissociáveis, antenas são sensíveis à variação do campo elétrico. Por isso, uma antena emissora de AM na vertical emitirá ondas que uma antena receptora de AM na horizontal não poderá captar. No entanto, outra antena receptora AM na vertical captará. Esse direcionamento da oscilação de uma onda é chamado de **polarização** da onda. Uma antena AM vertical emite ondas na faixa AM, polarizada verticalmente.



Representação de uma antena emitindo ondas eletromagnéticas polarizadas verticalmente em uma situação na qual uma antena horizontal não tem recepção dessas ondas por estar na horizontal (**A**), enquanto outra antena vertical, alinhada à direção de oscilação do campo elétrico (**B**), tem recepção das ondas. Destaque para a direção do campo elétrico, em verde, a direção do campo magnético, em vermelho, e a direção de propagação da onda, em azul.

Não só as antenas polarizam as ondas eletromagnéticas, existem filtros específicos que também polarizam as ondas de modo que apenas uma direção de oscilação as atravesse.

A polarização é um fenômeno ondulatório que pode acontecer por outras razões: uma onda pode passar por um filtro polarizador de modo que apenas uma direção de oscilação seja possível, alinhando a perturbação e polarizando-a. A onda já polarizada, se passar por um filtro perpendicular à sua direção de oscilação, será analisada, conforme podemos observar nas figuras a seguir.

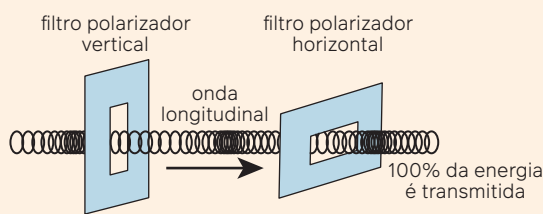


(**A**) onda polarizada verticalmente, passando por um filtro polarizador vertical; (**B**) onda polarizada horizontalmente sendo analisada ao passar por um filtro polarizador vertical.

Se liga

A polarização é um fenômeno que só ocorre com ondas transversais, e o som é uma onda longitudinal. Para ondas longitudinais, não ocorre polarização, independentemente da direção do filtro polarizador.

No caso apresentado, se tivéssemos uma onda transversal (como são as ondas eletromagnéticas), o primeiro filtro polarizaria verticalmente a onda, enquanto o segundo apenas analisaria a onda.



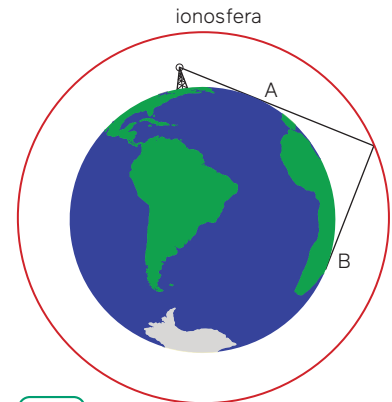
Onda longitudinal atravessando dois filtros polarizadores perpendiculares entre si, sem sofrer em nenhum dos dois a polarização.

Telecomunicações de um lado a outro do globo

Dada a curvatura do planeta Terra, quando estamos em uma praia de mar calmo e olhamos para o horizonte, não enxergamos muito mais que alguns poucos quilômetros à frente. Se estivermos no alto de um prédio, o limite de horizonte se amplia para algumas dezenas de quilômetros. Isso porque, considerando desprezíveis os efeitos de refração da luz, podemos dizer que a luz no ar se propaga em linha reta.

Da mesma forma, as ondas de rádio também se propagam em linha reta e, por isso, uma antena com a mesma altura de um ser humano não poderá ter suas ondas captadas por mais que alguns quilômetros. No entanto, algumas faixas de frequência de ondas de rádio, chamadas de ondas curtas e ondas médias, com frequências entre 3 e 3 000 MHz, podem ser refletidas na ionosfera terrestre, permitindo que a onda alcance distâncias mais longas.

O exemplo da figura é simplificado. Várias reflexões podem ocorrer em diferentes pontos, e a superfície da Terra, bem como a troposfera, podem influenciar, a depender da faixa de frequência das ondas. Entretanto, uma das evidências de que algumas frequências se refletem na ionosfera é a de que à noite é possível captar, em aparelhos de rádio que operam com ondas curtas e médias, estações de outros países. Durante o dia, a luz solar perturba a ionosfera, e essa captação fica prejudicada.



TDPStudio



Infográfico clicável

Sensoriamento remoto: monitorando o meio ambiente

Horizonte para ondas de rádio se propagando em linha reta (ponto A) e ampliação da distância desse horizonte devido a reflexões na ionosfera (ponto B).



Ciência por fora

RFID e NFC: telecomunicações à curta distância

Durante a pandemia de covid-19, houve um notável crescimento do uso de pagamentos por aproximação de cartões magnéticos. Com o crescimento dos pagamentos por aproximação, cresceu também o uso de aparelhos digitais, como celulares, que permitem pagamentos dessa forma. Esse processo de comunicação sem contato não se restringe aos pagamentos. Em outras situações, pequenas tags permitem a abertura de trancas em portarias de prédios.

Isso indica uma forma de comunicação entre aparelhos eletrônicos feita à curta distância que auxiliaram na época do distanciamento social imposto pela pandemia de covid-19, mas também inauguraram uma nova época de predominância de pagamentos sem contato. Como consequência, uma nova forma de relação com valores financeiros e aparelhos eletrônicos se estabeleceu

Tecnologias de identificação por ondas de rádio

As tecnologias chamadas RFID, sigla em língua inglesa para *Radio Frequency Identification*, “identificação por radiofrequência”, são o conjunto de formas de comunicação por ondas eletromagnéticas que permitem a identificação de uma pessoa, um aparelho ou uma conta bancária. Cartões de ônibus e tags de identificação de veículos fazem parte desse grupo de tecnologias.

Dentro das tecnologias do tipo RFID, há as chamadas NFC (sigla em língua inglesa para *Near Field Communication*, isto é, “comunicação de curta distância”, em língua portuguesa). Os dispositivos NFC fazem identificação por rádio frequência também, mas só são acionados a distâncias menores que alguns centímetros. Funcionam dessa forma os cartões de débito e crédito por aproximação ou os aparelhos de celular com aplicativos de compras por aproximação.

Trocando ideias

1. O pagamento por aproximação pode ter salvado vidas durante os tempos de distanciamento social da pandemia de covid-19?
2. Existem desvantagens no uso desse tipo de tecnologia?



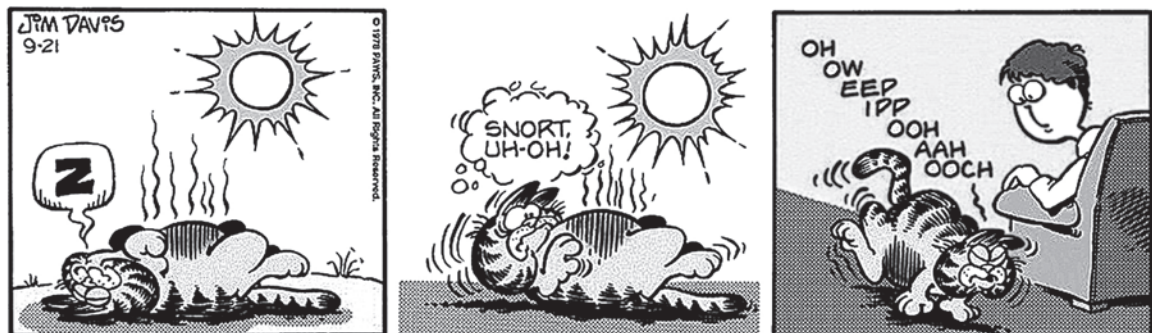
Tag sendo utilizada para abertura de tranca em portaria.



Pagamento por tecnologia NFC feito a partir de um telefone celular.



1. (Enem-PPL – 2017)



DAVIS, J. Disponível em: <http://garfield.com>. Acesso em: 15 ago. 2014.

A faixa espectral da radiação solar que contribui fortemente para o efeito mostrado na tirinha é caracterizada como:

- a) Visível.
 - b) Amarela.
 - c) Vermelha.
 - d) Ultravioleta.
 - e) Infravermelha.
2. Uma antena transmissora de rádio AM está posicionada na horizontal. Em um local distante, um aparelho de rádio recebe essas ondas, mas só é possível sintonizá-lo corretamente quando sua antena também está na horizontal. Isso ocorre devido à:
- a) interferência das ondas eletromagnéticas.
 - b) difração das ondas eletromagnéticas.
 - c) refração das ondas eletromagnéticas.
 - d) frequência das ondas eletromagnéticas.
 - e) polarização das ondas eletromagnéticas.
3. Explique por que nos bronzeamos na praia, à luz do Sol, mas não conseguimos nos bronzear ao acendermos uma lâmpada em um cômodo da casa.
4. Comparando a comunicação por rádio AM, que utiliza frequências entre 535 e 1 605 kHz, com a comunicação feita por rádio FM, que utiliza frequências entre 88 e 108 MHz, podemos dizer que:
- a) a rádio AM utiliza menor comprimento de onda e maior intensidade.
 - b) a rádio AM utiliza maior frequência de onda e maior intensidade.
 - c) a rádio AM utiliza menor potência de onda e maior intensidade.
 - d) a rádio AM utiliza menor frequência de onda e maior comprimento de onda.
 - e) a rádio AM utiliza menor frequência de onda e menor comprimento de onda.

Recapitule



Neste capítulo ampliamos os conhecimentos em fenômenos ondulatórios e focamos a atenção nas ondas eletromagnéticas e nos diferentes sistemas de telecomunicações. Recuperamos a história da construção do rádio e até construímos um! Vimos como os sistemas de comunicação de curta distância estão presentes no dia a dia e pudemos avaliar aspectos positivos e negativos de seus usos. Vimos também que algumas faixas específicas de radiações podem alcançar locais distantes do planeta, mesmo sem satélites, pois são ondas que se refletem na ionosfera.

Agora, retome as questões de abertura do capítulo e responda-as novamente com base nos conhecimentos adquiridos.

A partir dos aprendizados e das vivências do capítulo, como você explicaria o funcionamento do *wi-fi* e do Bluetooth?

Ondulatória

Procure na internet, um vídeo mostrando uma “ola” em um estádio de futebol com muitos torcedores e analise: O que esse fenômeno tem a ver com a propagação de ondas? Como ele acontece? Como pessoas que não se conhecem conseguem, sem nem mesmo combinar, construir algo juntas?

A Ciência e a Tecnologia desenvolveram uma série de ferramentas que permitem melhorar a potência dos equipamentos captadores que os seres humanos utilizam para compreender e interagir com o ambiente. Sons inaudíveis, objetos invisíveis, ruído na propagação, entre outros, podem se tornar perceptíveis aos seres humanos por meio de óculos, de microscópios, de raios X, ultrassons ou das ondas eletromagnéticas, quando se trata de enviar mensagens por longas distâncias. A Ciência elabora teorias que descrevem e explicam o funcionamento e a razão de alguns tipos de fenômenos acontecerem. É com base nesses estudos que os problemas são compreendidos e os obstáculos ultrapassados. Todos esses elementos permitem acessar e acumular informações acerca de como funciona a natureza.

Mas, e depois? Assim como um médico que diagnostica uma doença com a ajuda das ferramentas de imagem, o exercício cotidiano de entender o mundo e construir convicções, percepções e entendimentos, passa tanto pela quantidade e a qualidade das informações disponíveis quanto pela capacidade de analisá-las e o estoque de conhecimentos de cada um. Juntos, esses elementos permitem compreender o que existe, como funciona e mesmo prever elementos sobre o futuro.

Quase nunca realizamos essa etapa do trabalho sozinhos. Os grupos dos quais fazemos parte têm um forte poder, não apenas sobre as informações que chegam até cada um dos indivíduos, mas na interpretação feita do que elas significam. Compreender os mecanismos que podem melhorar o entendimento ou produzir ruído na compreensão é o que permite aproveitar as oportunidades que a interação traz, mas, ao mesmo tempo, defender-se dos males que ela pode causar.

Agora é com você!



Planeje e realize uma atividade que permita identificar o efeito que os coletivos têm sobre as pessoas. Para isso, você precisa criar uma dinâmica coletiva, onde vai comparar as respostas dadas pelos participantes da sua pesquisa quando estão refletindo sozinhos, com aquelas que eles darão oralmente, quando estiverem interagindo em grupo.

Para realizar esse projeto, você vai precisar de um questionário de perguntas e respostas objetivas. É ele que deverá servir como referência na aplicação do seu teste. Construa-o junto dos demais estudantes, tendo como foco o tema ondas e comunicação. Além dos conteúdos estudados nessa unidade, as perguntas podem explorar temas como:

- a percepção dos animais sobre o mundo ao seu redor;
- a influência das tempestades solares nas telecomunicações;
- a relação entre a anatomia dos seres vivos e seus modos de comunicação;
- novas doenças que só foram descobertas após o desenvolvimento de ferramentas de diagnóstico.

Quanto mais variadas forem as perguntas, mais rico será o experimento.

Com as questões em mãos, reflitam sobre a melhor maneira de conduzir esse experimento social. É importante que o questionário seja aplicado duas vezes: primeiro, cada participante deve responder individualmente. Depois, repita a aplicação do questionário, mas dessa vez os participantes devem discutir as respostas em grupos antes de responder.

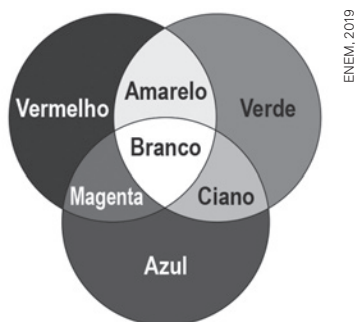
Ao final, comparem os resultados obtidos tanto pelos participantes individualmente quanto pelos grupos.

1. Que nota cada um obteve respondendo sozinho e respondendo com o grupo?
2. O desempenho do coletivo (a média da turma) foi equivalente ao desempenho individual?
3. O participante que obteve a melhor nota na etapa individual foi ouvido pelos colegas na etapa coletiva?

Por fim, utilizem os resultados obtidos para refletir sobre as *fake news* e o impacto que elas têm na compreensão das pessoas acerca dos fatos.



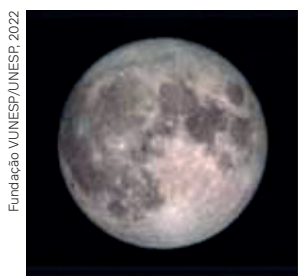
- (Enem – 2019) Os olhos humanos normalmente têm três tipos de cones responsáveis pela percepção das cores: um tipo para tons vermelhos, um para tons azuis e outro para tons verdes. As diversas cores que enxergamos são o resultado da percepção das cores básicas, como indica a figura.



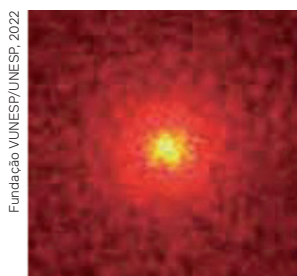
A protanopia é um tipo de daltonismo em que há diminuição ou ausência de receptores da cor vermelha. Considere um teste com dois voluntários: uma pessoa com visão normal e outra com caso severo de protanopia. Nesse teste, eles devem escrever a cor dos cartões que lhes são mostrados. São utilizadas as cores indicadas na figura.

Para qual cartão os dois voluntários identificaram a mesma cor?

- Vermelho.
 - Magenta.
 - Amarelo.
 - Branco.
 - Azul.
- (Unesp-SP – 2022) Nossos olhos percebem, apenas, uma pequena faixa do espectro eletromagnético, chamada de luz visível. Outras faixas dessa radiação podem ser detectadas por instrumentos específicos. No espaço extraterrestre, partículas de alta energia produzidas em todo o universo se propagam e, normalmente, são bloqueadas por campos magnéticos. Porém, como a Lua não possui campo magnético, essas partículas atingem a superfície lunar, interagem com a matéria e produzem raios gama como resultado, que podem ser detectados na Terra. A figura da esquerda mostra uma imagem da Lua obtida na faixa da luz visível e, a da direita, obtida na faixa dos raios gama.



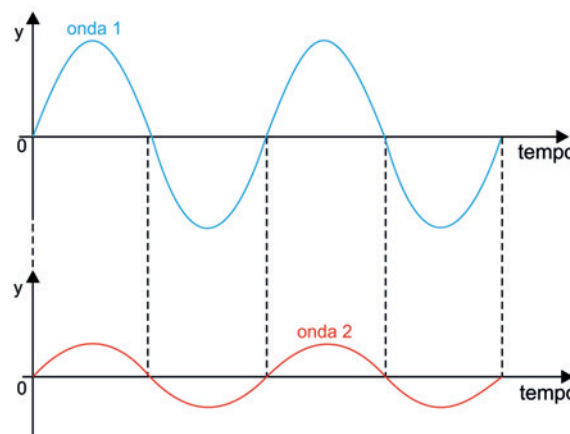
<https://revistapesquisa.fapesp.br>



<https://gizmodo.uol.com.br>

Comparando os raios de luz visível com os raios gama, é correto afirmar que:

- como todas as ondas eletromagnéticas, ambos só podem se propagar pelo vácuo, e com velocidades iguais.
 - por apresentarem comprimentos de onda maiores do que os da luz visível, os raios gama são inofensivos quando atingem os seres humanos.
 - os raios gama apresentam frequências menores do que as da luz visível, o que explica terem velocidade de propagação maior do que essa luz, no vácuo.
 - provenientes simultaneamente de uma mesma fonte no espaço, ambos chegam à Terra em intervalos de tempo diferentes, produzindo imagens distintas dessa fonte.
 - apesar de terem frequências e comprimentos de onda diferentes, ambos se propagam pelo vácuo com velocidades iguais.
- (Cusc – 2021) Duas ondas senoidais, 1 e 2, propagam-se por duas cordas idênticas com velocidades iguais e constantes. Na figura estão representadas, em função do tempo, as coordenadas verticais (y) de dois pontos, um de cada corda, em uma mesma escala.

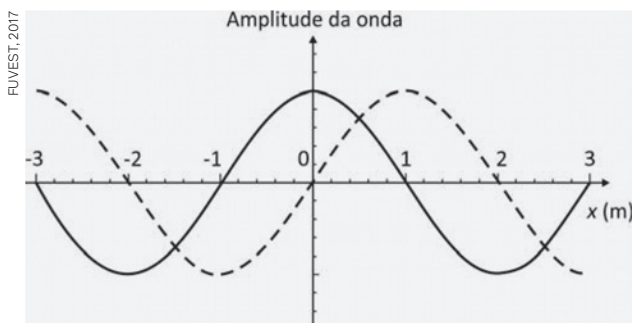


Centro Universitário São Camilo, 2021

De acordo com as informações da figura, essas ondas apresentam:

- amplitudes diferentes, frequências diferentes e comprimentos de onda iguais.
- amplitudes diferentes, frequências iguais e comprimentos de onda iguais.
- amplitudes iguais, frequências iguais e comprimentos de onda diferentes.
- amplitudes iguais, frequências diferentes e comprimentos de onda iguais.
- amplitudes diferentes, frequências iguais e comprimentos de onda diferentes.

4. (Fuvest-SP – 2017) A figura representa uma onda harmônica transversal, que se propaga no sentido positivo do eixo x , em dois instantes de tempo: $t = 3$ s (linha cheia) e $t = 7$ s (linha tracejada).



Dentre as alternativas, a que pode corresponder à velocidade de propagação dessa onda é:

- a) 0,14 m/s. c) 0,33 m/s. e) 2,00 m/s.
b) 0,25 m/s. d) 1,00 m/s.
5. (Famerp-SP – 2022) A lavadora ultrassônica, ou cuba ultrassônica, como a da imagem, é um dos equipamentos utilizados em consultórios e hospitais para a pré-limpeza de equipamentos cirúrgicos e odontológicos. Essa lavadora produz ondas mecânicas, com frequência na faixa do ultrassom, que são transmitidas para uma solução em seu interior. Isso faz com que as moléculas da solução se agitem e, por meio de um processo chamado cavitação, acabem por dissociar as impurezas nas superfícies dos materiais submersos na cuba.



Fundação Vunesp/UNESP, 2022

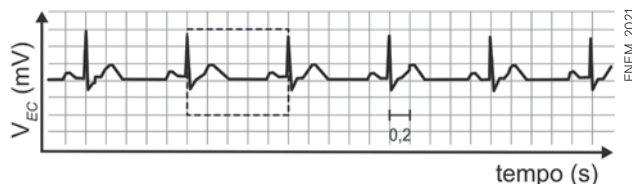
Fonte: blog.suryadental.com.br. Adaptado.

Sabendo que um valor típico para a frequência de operação dessas cubas é de 40 kHz e que as ondas produzidas se propagam na solução com uma velocidade de 1480 m/s, o comprimento de onda associado a essas ondas é de

- a) $2,7 \cdot 10^1$ m. d) $3,7 \cdot 10^2$ m.
b) $3,7 \cdot 10^{-2}$ m. e) $2,7 \cdot 10^3$ m.
c) $2,7 \cdot 10^{-3}$ m.
6. (UVA – 2022) Uma câmera de alta velocidade registra o bater de asas de uma borboleta. No estudo da filmagem um pesquisador verifica que, enquanto se alimenta, esta borboleta completa um ciclo do bater das asas em 0,5 segundos.

Neste caso, a sua frequência do bater das asas durante a alimentação é de:

- a) 0,5 Hz. c) 2,0 Hz.
b) 1,5 Hz. d) 5,0 Hz.
7. (Enem – 2021) O eletrocardiograma é um exame cardíaco que mede a intensidade dos sinais elétricos advindos do coração. A imagem apresenta o resultado típico obtido em um paciente saudável e a intensidade do sinal (V_{EC}) em função do tempo.



De acordo com o eletrocardiograma apresentado, qual foi o número de batimentos cardíacos por minuto desse paciente durante o exame?

- a) 30. c) 100. e) 180.
b) 60. d) 120.
8. (Famerp-SP – 2021) A imagem mostra a onda obtida em um eletrocardiograma.



Fundação Vunesp/FAMERP, 2021

<https://gizmodo.uol.com.br>

Sabendo que o intervalo de tempo entre o primeiro e o quarto pico é igual a 2,4 segundos, o período e a frequência da onda do eletrocardiograma são, respectivamente:

- a) 0,8 s e 1,25 Hz. d) 0,8 s e 72 Hz.
b) 0,6 s e 72 Hz. e) 0,6 s e 1,67 Hz.
c) 0,6 s e 36 Hz.
9. (Unicamp-SP – 2020) Em 2019 foi divulgada a primeira imagem de um buraco negro, obtida pelo uso de vários radiotelescópios. Também recentemente, uma equipe da NASA propôs a utilização de telescópios de infravermelho para detectar antecipadamente asteroides que se aproximam da Terra. Considere que um radiotelescópio detecta ondas eletromagnéticas provenientes de objetos celestes distantes na frequência de $f_{\text{rádio}} = 1,5$ GHz, e que um telescópio de infravermelho detecta ondas eletromagnéticas originadas em corpos do sistema solar na frequência de $f_{\text{infravermelho}} = 30$ THz. Qual é a razão entre os correspondentes comprimentos de onda no vácuo, $\lambda_{\text{rádio}}/\lambda_{\text{infravermelho}}$?
- a) $5,0 \cdot 10^{-5}$. c) $2,0 \cdot 10^4$.
b) $6,7 \cdot 10^{-5}$. d) $6,0 \cdot 10^{12}$.

10. (Imepak-MG – 2023)



Fonte: <https://artedafisicapibid.blogspot.com/2019/07/tirinhas-diversas-ondas-mecanicas.html>. Acesso em: 6 set. 2022.

A tirinha utiliza o conceito do eco para fazer humor. O eco está relacionado com o fenômeno da reflexão da onda sonora e por meio deste é possível determinar a distância que o emissor da onda sonora está de um obstáculo. Considere que o personagem da tirinha emitiu um som a 2 metros da entrada da caverna e que escutou o eco após 0,5 segundo.

Sabendo que a velocidade do som no ar é de 340 m/s, qual é a profundidade dessa caverna, em metros?

- a) 81. b) 83. c) 85. d) 87.

11. (PUC-PR – 1999) A acústica é a parte da Física que se ocupa dos conceitos e aplicações de ondas sonoras. Assinale, a seguir, a alternativa CORRETA:

- a) Ondas sonoras são ondas mecânicas transversais.
 b) As ondas sonoras propagam-se com a mesma velocidade em qualquer meio.
 c) Quanto mais grave for o som emitido, maior será a frequência da onda sonora respectiva.
 d) Na extremidade aberta de um tubo sonoro que produz um harmônico, há um nó de vibração da onda sonora estacionária.
 e) O timbre de uma onda sonora pode identificar a fonte sonora que o produziu.

12. (Enem – 2016) A corrida dos 100 m rasos é uma das principais provas do atletismo e qualifica o homem mais rápido do mundo. Um corredor de elite foi capaz de percorrer essa distância em 10 s, com 41 passadas. Ele iniciou a corrida com o pé direito. O período de oscilação do pé direito desse corredor foi mais próximo de:

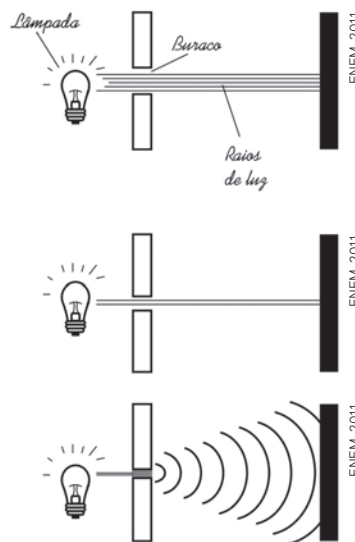
- a) $\frac{1}{10}$ s. c) $\frac{1}{2}$ s. e) 4 s.
 b) $\frac{1}{4}$ s. d) 2 s.

13. (UFMT – 2008) A ultrassonografia, ou ecografia, é um método diagnóstico que aproveita o eco produzido pelo som para ver em tempo real as sombras produzidas pelas estruturas e órgãos do organismo. Os aparelhos de ultrassom em geral utilizam uma frequência próxima de 1 MHz, emitindo por meio de uma fonte de cristal piezoelétrico que fica em contato com a pele e recebendo os ecos gerados, que são interpretados por computação gráfica. Sobre o ultrassom, assinale a afirmativa correta.

- a) O efeito Doppler ocorre também com o ultrassom, mas não com o infrassom.

- b) O ultrassom se propaga como uma onda mecânica transversal de frequência acima de 20 kHz.
 c) O ultrassom se propaga como uma onda mecânica longitudinal de frequência abaixo de 20 kHz.
 d) As cantoras líricas são famosas pelo timbre dos ultrassons de frequência maior que 10 MHz que emitem normalmente ao interpretarem uma ópera.
 e) O eco é caracterizado pela diferença entre um som emitido e a sua reflexão.

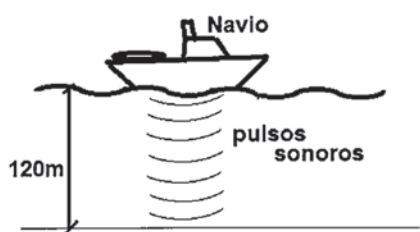
14. (Enem – 2011) Ao diminuir o tamanho de um orifício atravessado por um feixe de luz, passa menos luz por intervalo de tempo, e próximo da situação de completo fechamento do orifício, verifica-se que a luz apresenta um comportamento como o ilustrado nas figuras. Sabe-se que o som, dentro de suas particularidades, também pode se comportar dessa forma. Em qual das situações a seguir está representado o fenômeno descrito no texto?



FIOLHAIS, C. **Física divertida**. Brasília: UnB, 2000 (adaptado).

- a) Ao se esconder atrás de um muro, um menino ouve a conversa de seus colegas.
 b) Ao gritar diante de um desfiladeiro, uma pessoa ouve a repetição do seu próprio grito.
 c) Ao encostar o ouvido no chão, um homem percebe o som de uma locomotiva antes de ouvi-lo pelo ar.
 d) Ao ouvir uma ambulância se aproximando, uma pessoa percebe o som mais agudo do que quando aquela se afasta.
 e) Ao emitir uma nota musical muito aguda, uma cantora de ópera faz com que uma taça de cristal se despedace.
15. (EAM – 2020) Sonares são instrumentos geralmente utilizados por navios para detecção e localização de objetos no fundo do mar. Os sonares funcionam a partir da emissão de pulsos sonoros (ultrassom) que, ao atingirem os obstáculos, refletem e retornam

à fonte (como um eco). Um navio analisa o fundo do mar utilizando um sonar com frequência próxima de 25 000 Hz.



Sabendo que o fundo do mar está a uma profundidade de 120 m e que o intervalo de tempo entre a emissão do pulso e a recepção de seu “eco” é de 0,16 s, o comprimento de onda dos pulsos emitido pelo sonar é de:

- a) 5 cm
- b) 6 cm
- c) 8 cm
- d) 10 cm
- e) 12 cm

16. (Enem – 2014) Ao assistir a uma apresentação musical, um músico que estava na plateia percebeu que conseguia ouvir quase perfeitamente o som da banda, perdendo um pouco de nitidez nas notas mais agudas. Ele verificou que havia muitas pessoas bem mais altas à sua frente, bloqueando a visão direta do palco e o acesso aos alto-falantes. Sabe-se que a velocidade do som no ar é 340 m/s e que a região de frequências das notas emitidas é de, aproximadamente, 20 Hz a 4 000 Hz. Qual fenômeno ondulatório é o principal responsável para que o músico percebesse essa diferenciação do som?

- a) Difração.
- b) Reflexão.
- c) Refração.
- d) Atenuação.
- e) Interferência.

17. (Unifenas-MG – 2020) É possível quebrar uma taça de vidro com um grito, como muitos já observaram ou escutaram a respeito.



Contudo, diferente do que se pensa, não é a energia colocada no grito que irá determinar se a taça irá quebrar. O que importa mesmo é a altura da onda sonora emitida. Tal fenômeno ondulatório é conhecido como:

- a) difração.
- b) interferência.
- c) polarização.
- d) refração.
- e) ressonância.

18. (UERJ – 2011) Considere 1 600 m/s a velocidade do som na água do mar. Um submarino encontra-se entre dois obstáculos a uma determinada profundidade. Para medir a distância entre os obstáculos, o técnico do sonar comanda a emissão de um único pulso ultrassônico, que sofrerá reflexões nos referidos obstáculos. O primeiro pulso refletido é recebido 2 s após a emissão e o outro 3 s após a recepção do primeiro.

Com base nessas informações, conclui-se que a distância entre os obstáculos vale, em quilômetros:

- a) 9,6
- b) 8,0
- c) 6,2
- d) 5,6

19. (Uncisal – 2020) Leia a seguinte situação descrita por um aluno ao seu professor de física. Professor, a minha casa fica próxima a um morro. Do outro lado do morro, existe uma antena de rádio e, próximo a ela, um holofote. Não tenho nenhuma dificuldade em sintonizar o sinal da emissora de rádio, mas não consigo ver a luz emitida pelo holofote. Sei que as ondas emitidas pela antena e pelo holofote são ambas eletromagnéticas; sei também que diversos fenômenos que ocorrem com as ondas eletromagnéticas dependem da frequência da onda. Mas, então, professor, qual propriedade física explica esse fenômeno?

Figura I: emissora de rádio

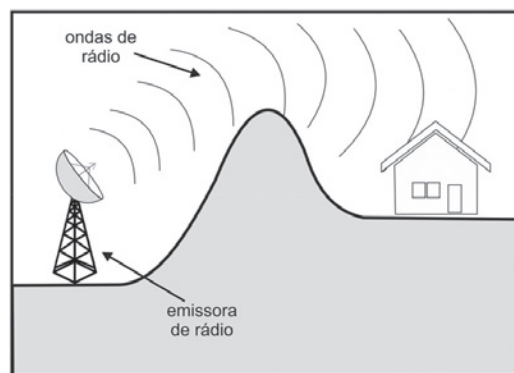
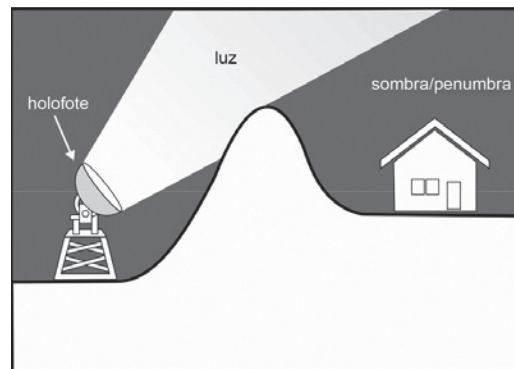


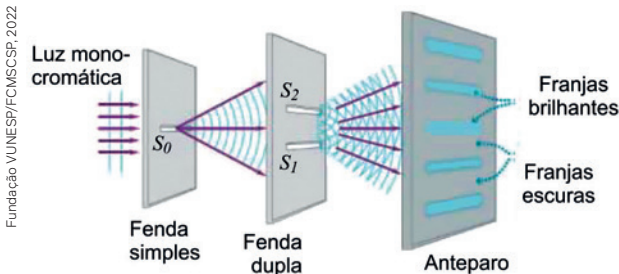
Figura II: holofote



Considerando-se as figuras I e II, que ilustram a situação descrita pelo aluno, qual é a propriedade ondulatória que explica o fenômeno descrito?

- a) Refração, que ocorre quando há mudança na direção de propagação de uma onda sonora.
- b) Ressonância, que relaciona a frequência da onda às dimensões físicas da região de propagação.
- c) Interferência, que ocorre quando ondas eletromagnéticas de diferentes frequências se sobrepõem.
- d) Linearidade, que é a capacidade de uma onda se propagar sempre em linha reta em meios homogêneos.
- e) Difração, que explica a capacidade de uma onda contornar obstáculos conforme seu comprimento de onda.

20. (FCMSCSP – 2022) Em uma das grandes disputas teóricas da Física, Sir Isaac Newton (1642-1727) defendia que a luz era constituída de corpúsculos, enquanto Christian Huygens (1629-1695) defendia que a luz era constituída por ondas. Em 1801, Thomas Young (1773-1829) realizou uma experiência que, na época, decidiu a questão favoravelmente a Huygens.



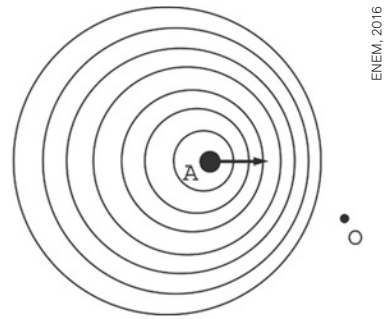
Fonte: (<http://materias.df.uba.ar>. Adaptado.)

Na experiência realizada por Young, um feixe de luz monocromática incide sobre um primeiro anteparo contendo uma fenda simples. Esse feixe sofre difração ao passar por essa primeira fenda e segue para um segundo anteparo contendo duas fendas paralelas, as quais produzem novas difrações. Em seguida, a luz proveniente das duas fendas atinge um terceiro anteparo, que atua como uma tela, na qual é produzida uma imagem com regiões alternadas entre brilhantes e escuras, denominadas franjas. A formação dessas franjas, no anteparo, se deve ao fenômeno ondulatório da

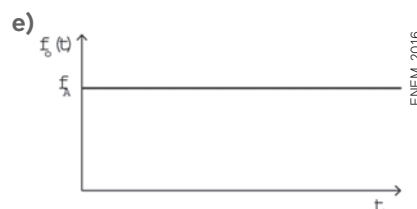
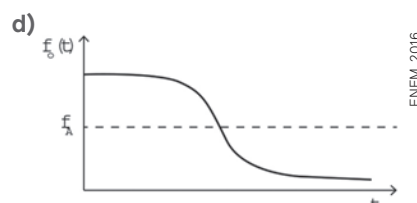
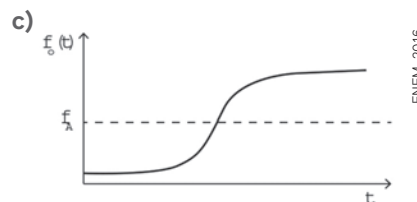
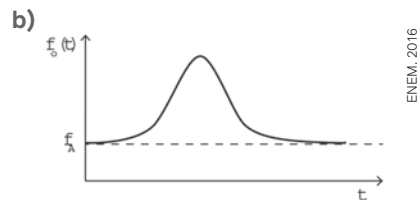
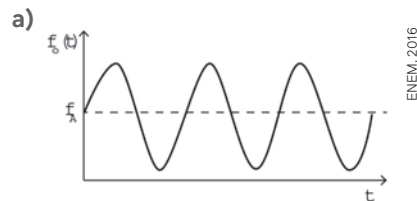
- a) polarização.
- b) dispersão.
- c) refração.
- d) interferência.
- e) ressonância.

21. (Enem – 2016) Uma ambulância **A**, em movimento retilíneo e uniforme, aproxima-se de um observador **O**, em repouso. A sirene emite um som de frequência constante f_a . O desenho ilustra as frentes de

onda do som emitido pela ambulância. O observador possui um detector que consegue registrar, no esboço de um gráfico, a frequência da onda sonora detectada em função do tempo $f_o(t)$, antes e depois da passagem da ambulância por ele.



Qual esboço gráfico representa a frequência $f_o(t)$ detectada pelo observador?



22. (PUC-Camp – 2000) Um professor lê o seu jornal sentado no banco de uma praça e, atento às ondas sonoras, analisa três eventos:

- I. O alarme de um carro dispara quando o proprietário abre a tampa do porta-malas.
- II. Uma ambulância se aproxima da praça com a sirene ligada.
- III. Um mau motorista, impaciente, após passar pela praça, afasta-se com a buzina permanentemente ligada.

O professor percebe o efeito Doppler apenas:

- a) no evento I, com frequência sonora invariável.
- b) nos eventos I e II, com diminuição da frequência.
- c) nos eventos I e III, com aumento da frequência.
- d) nos eventos II e III, com diminuição da frequência em II e aumento em III.
- e) nos eventos II e III, com aumento da frequência em II e diminuição em III.

23. (Enem – 2021) O sino dos ventos é composto por várias barras metálicas de mesmo material e espessura, mas de comprimentos diferentes, conforme a figura.



Considere f_1 e v_1 , respectivamente, como a frequência fundamental e a velocidade de propagação do som emitido pela barra de menor comprimento, e f_2 e v_2 são essas mesmas grandezas para o som emitido pela barra de maior comprimento.

As relações entre as frequências fundamentais e entre as velocidades de propagação são, respectivamente,

- a) $f_1 < f_2$ e $v_1 < v_2$.
- b) $f_1 < f_2$ e $v_1 = v_2$.
- c) $f_1 < f_2$ e $v_1 > v_2$.
- d) $f_1 > f_2$ e $v_1 = v_2$.
- e) $f_1 > f_2$ e $v_1 > v_2$.

24. (Enem – 2018) As notas musicais podem ser agrupadas de modo a formar um conjunto. Esse conjunto pode formar uma escala musical. Dentre as diversas escalas existentes, a mais difundida é a escala diatônica, que utiliza as notas denominadas dó, ré, mi, fá, sol, lá e si. Essas notas estão organizadas em ordem crescente de alturas, sendo a nota dó a mais baixa e a nota si a mais alta.

Considerando uma mesma oitava, a nota si é a que tem menor

- a) amplitude.
- b) frequência.
- c) velocidade.
- d) intensidade.
- e) comprimento de onda.

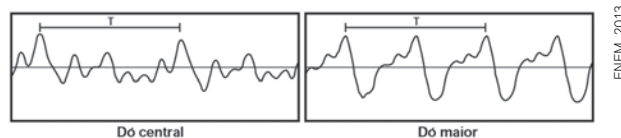
25. (Enem – 2021) Alguns modelos mais modernos de fones de ouvido têm um recurso, denominado “cancelador de ruídos ativo”, constituído de um circuito eletrônico que gera um sinal sonoro semelhante ao sinal externo (ruído), exceto pela sua fase oposta. Qual fenômeno físico é responsável pela diminuição do ruído nesses fones de ouvido?

- a) Difração.
- b) Reflexão.
- c) Refração.
- d) Interferência.
- e) Efeito Doppler.

26. (Enem – 2012) Para afinar um violão, um músico necessita de uma nota para referência, por exemplo, a nota Lá em um piano. Dessa forma, ele ajusta as cordas do violão até que ambos os instrumentos toquem a mesma nota. Mesmo ouvindo a mesma nota, é possível diferenciar o som emitido pelo piano e pelo violão. Essa diferenciação é possível, porque

- a) a ressonância do som emitido pelo piano é maior.
- b) a potência do som emitido pelo piano é maior.
- c) a intensidade do som emitido por cada instrumento é diferente.
- d) o timbre do som produzido por cada instrumento é diferente.
- e) a amplitude do som emitido por cada instrumento é diferente.

27. (Enem – 2013) Em um piano, o Dó central e a próxima nota Dó (Dó maior) apresentam sons parecidos, mas não idênticos. É possível utilizar programas computacionais para expressar o formato dessas ondas sonoras em cada uma das situações como apresentado nas figuras, em que estão indicados



intervalos de tempo idênticos (T).

A razão entre as frequências do Dó central e do Dó maior é de:

- a) $\frac{1}{2}$
- b) 2
- c) 1
- d) $\frac{1}{4}$
- e) 4

28. (Enem – 2018)

O sonorizador é um dispositivo físico implantado sobre a superfície de uma rodovia de modo que provoque uma trepidação e ruído quando da passagem de um veículo sobre ele, alertando para uma situação atípica à frente, como obras, pedágios ou travessia de pedestres. Ao passar sobre os sonorizadores, a suspensão do veículo sofre vibrações que produzem ondas sonoras, resultando em um barulho peculiar.

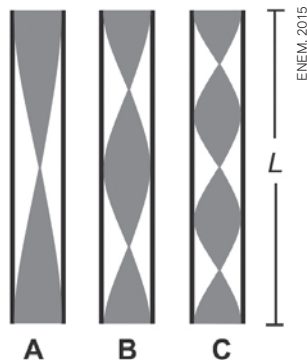
Considere um veículo que passe com velocidade constante igual a 108 km/h sobre um sonorizador cujas faixas são separadas por uma distância de 8 cm.

Disponível em: www.denatran.gov.br.
Acesso em: 2 set. 2015 (adaptado).

A frequência da vibração do automóvel percebida pelo condutor durante a passagem nesse sonorizador é mais próxima de:

- a) 8,6 hertz.
- b) 13,5 hertz.
- c) 375 hertz.
- d) 1 350 hertz.
- e) 4 860 hertz.

29. (Enem – 2015) Em uma flauta, as notas musicais possuem frequências e comprimentos de onda (λ) muito bem definidos. As figuras mostram esquematicamente um tubo de comprimento L , que representa de forma simplificada uma flauta, em que estão representados: em **A** o primeiro harmônico de uma nota musical (comprimento de onda λ_A), em **B** seu segundo harmônico (comprimento de onda λ_B) e em **C** o seu terceiro harmônico (comprimento de onda λ_C), onde $\lambda_A > \lambda_B > \lambda_C$.



Em função do comprimento do tubo, qual o comprimento de onda da oscilação que forma o próximo harmônico?

- a) $\frac{L}{4}$
 - b) $\frac{L}{5}$
 - c) $\frac{L}{2}$
 - d) $\frac{L}{8}$
 - e) $\frac{6L}{8}$
30. (Enem – 2020) Os fones de ouvido tradicionais transmitem a música diretamente para os nossos ouvidos. Já os modelos dotados de tecnologia redutora de ruído — Cancelamento de Ruído (CR) —, além de transmitir música, também reduzem todo ruído inconsistente à nossa volta, como o barulho de turbinas de avião e aspiradores de pó. Os fones de ouvido CR não reduzem realmente barulhos irregulares como discursos e

choros de bebês. Mesmo assim, a supressão do ronco das turbinas do avião contribui para reduzir a “fadiga de ruído”, um cansaço persistente provocado pela exposição a um barulho alto por horas a fio. Esses aparelhos também permitem que nós ouçamos músicas ou assistamos a vídeos no trem ou no avião a um volume muito menor (e mais seguro). A tecnologia redutora de ruído CR utilizada na produção de fones de ouvido baseia-se em qual fenômeno ondulatório?

- a) Absorção.
- b) Interferência.
- c) Polarização.
- d) Reflexão.
- e) Difração.

31. (Enem – 2014)

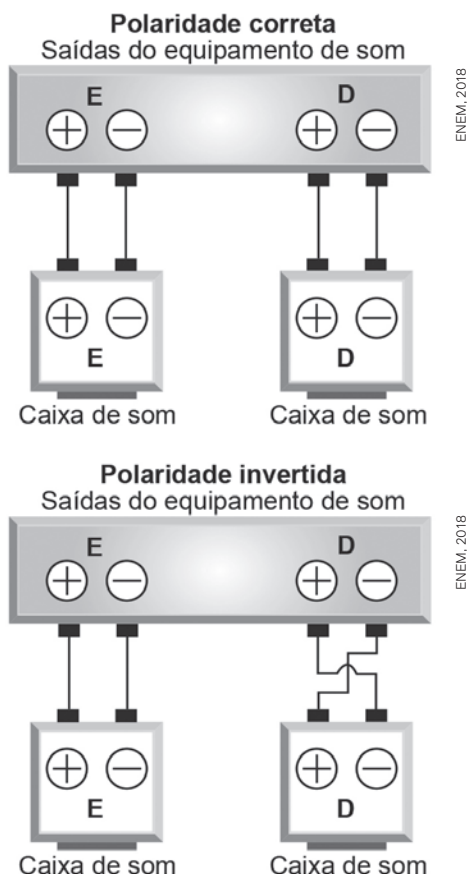
Quando adolescente, as nossas tardes, após as aulas, consistiam em tomar às mãos o violão e o dicionário de acordes de Almir Chediak e desafiar nosso amigo Hamilton a descobrir, apenas ouvindo o acorde, quais notas eram escolhidas. Sempre perdíamos a aposta, ele possui o ouvido absoluto. O ouvido absoluto é uma característica perceptual de poucos indivíduos capazes de identificar notas isoladas sem outras referências, isto é, sem precisar relacioná-las com outras notas de uma melodia.

LENT, R. O cérebro do meu professor de acordeão.
Disponível em: <https://www.cienciahoje.org.br/coluna/o-cerebro-do-meu-professor-de-acordeao/>.
Acesso em: 15 ago. 2012 (adaptado)

No contexto apresentado, a propriedade física das ondas que permite essa distinção entre as notas é a

- a) frequência.
 - b) intensidade.
 - c) forma da onda.
 - d) amplitude da onda.
 - e) velocidade de propagação.
32. (Enem – 2020) Dois engenheiros estão verificando se uma cavidade perfurada no solo está de acordo com o planejamento de uma obra, cuja profundidade requerida é de 30 m. O teste é feito por um dispositivo denominado oscilador de áudio de frequência variável, que permite relacionar a profundidade com os valores da frequência de duas ressonâncias consecutivas, assim como em um tubo sonoro fechado. A menor frequência de ressonância que o aparelho mediu foi 135 Hz. Considere que a velocidade do som dentro da cavidade perfurada é de $360 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Se a profundidade estiver de acordo com o projeto, qual será o valor da próxima frequência de ressonância que será medida?
- a) 137 Hz.
 - b) 138 Hz.
 - c) 141 Hz.
 - d) 144 Hz.
 - e) 159 Hz.

33. (Enem – 2018) Nos manuais de instalação de equipamentos de som há o alerta aos usuários para que observem a correta polaridade dos fios ao realizarem as conexões das caixas de som. As figuras ilustram o esquema de conexão das caixas de som de um equipamento de som mono, no qual os alto-falantes emitem as mesmas ondas. No primeiro caso, a ligação obedece às especificações do fabricante e no segundo mostra uma ligação na qual a polaridade está invertida.

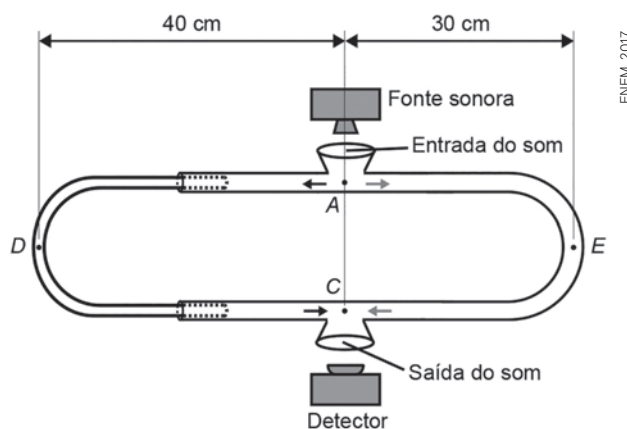


O que ocorre com os alto-falantes **E** e **D** se forem conectados de acordo com o segundo esquema?

- O alto-falante **E** funciona normalmente e o **D** entra em curto-circuito e não emite som.
- O alto-falante **E** emite ondas sonoras com frequências ligeiramente diferentes do alto-falante **D** provocando o fenômeno de batimento.
- O alto-falante **E** emite ondas sonoras com frequências e fases diferentes do alto-falante **D** provocando o fenômeno conhecido como ruído.
- O alto-falante **E** emite ondas sonoras que apresentam um lapso de tempo em relação às emitidas pelo alto-falante **D** provocando o fenômeno de reverberação.
- O alto-falante **E** emite ondas sonoras em oposição de fase às emitidas pelo alto-falante **D**

provocando o fenômeno de interferência destrutiva nos pontos equidistantes aos alto-falantes.

34. (Enem – 2015) Ao ouvir uma flauta e um piano emitindo a mesma nota musical, consegue-se diferenciar esses instrumentos um do outro. Essa diferenciação se deve principalmente ao(à)
- intensidade sonora do som de cada instrumento musical.
 - potência sonora do som emitido pelos diferentes instrumentos musicais.
 - diferente velocidade de propagação do som emitido por cada instrumento musical.
 - timbre do som, que faz com que os formatos das ondas de cada instrumento sejam diferentes.
 - altura do som, que possui diferentes frequências para diferentes instrumentos musicais.
35. (Enem – 2017) O trombone de Quincke é um dispositivo experimental utilizado para demonstrar o fenômeno da interferência de ondas sonoras. Uma fonte emite ondas sonoras de determinada frequência na entrada do dispositivo. Essas ondas se dividem pelos dois caminhos (**ADC** e **AEC**) e se encontram no ponto **C**, a saída do dispositivo, onde se posiciona um detector. O trajeto **ADC** pode ser aumentado pelo deslocamento dessa parte do dispositivo. Com o trajeto **ADC** igual ao **AEC**, capta-se um som muito intenso na saída. Entretanto, aumentando-se gradativamente o trajeto **ADC**, até que ele fique como mostrado na figura, a intensidade do som na saída fica praticamente nula. Desta forma, conhecida a velocidade do som no interior do tubo (320 m/s), é possível determinar o valor da frequência do som produzido pela fonte.



O valor da frequência, em hertz, do som produzido pela fonte sonora é

- 3 200.
- 1 600.
- 800.
- 640.
- 400

A

Em **(A)**, a cidade de São Paulo vista da Estação Espacial Internacional revela significativa alteração da paisagem noturna associada à dependência da eletricidade, 2022. Em **(B)**, miniatura de um trem de levitação magnética.

B



Interações eletromagnéticas

Consulte no Manual do Professor as orientações, respostas e comentários referentes às atividades e aos conteúdos desta unidade e seus capítulos.

Considere sua rotina diária e as diversas atividades que dependem da eletricidade. Desde o momento em que o despertador nos acorda, passando pelo acender das luzes, o banho aquecido por um chuveiro elétrico, até os momentos de lazer assistindo televisão ou navegando na internet. A eletricidade é uma presença constante em nossas vidas, a ponto de ser difícil imaginar o cotidiano sem ela.

Entretanto, a dependência da energia elétrica não é um fato desde sempre na história humana. O estudo sobre questões que remetem à eletricidade pode ser vinculado ao início dos questionamentos sobre os processos de eletrização, com Tales de Mileto, na Grécia Antiga. No entanto, foi apenas no século XIX que as bases do Eletromagnetismo se desenvolveram com maior intensidade, sendo o estopim para o desenvolvimento de conhecimentos e tecnologias que utilizamos até hoje quando se trata de eletricidade.

Nesta unidade, estudaremos elementos da eletricidade e do Magnetismo, veremos como essas áreas da Física estão interligadas e quais são as implicações.

▼ Para começar

1. Como a energia elétrica é produzida e distribuída no Brasil?
2. As instalações elétricas residenciais são responsáveis por garantir uma infraestrutura que nos permite ligar e desligar diferentes componentes que necessitam de eletricidade para o funcionamento, tais como as lâmpadas e os diversos eletrodomésticos. O que ocorre internamente nesses circuitos que permite o funcionamento desses componentes?
3. Os trens de levitação magnética (Maglev) são conhecidos por serem capazes de chegar a velocidades elevadas. Você consegue estabelecer uma relação entre a eficiência desses trens em desempenhar altas velocidades e o eletromagnetismo?

Geração, transmissão e consumo de eletricidade



Luiz Souza/Fotorena

Rede de distribuição de energia elétrica. Rio de Janeiro (RJ), 2018.

Para refletir

1. Você já parou para pensar em como é gerada a energia elétrica que utilizamos cotidianamente?
2. Como essa energia chega até você?
3. Já percebeu que em alguns meses do ano a conta de energia fica mais cara? Por que isso acontece?
4. Por que o uso de alguns aparelhos elétricos em casa torna a conta de energia mais cara?

Objetivos do capítulo

- Reconhecer os diferentes tipos de usinas geradoras de energia elétrica e as fontes de energia associadas a elas.
- Reconhecer as especificidades das etapas de geração, transmissão e consumo de energia elétrica.
- Compreender o motivo pelo qual a energia elétrica é transmitida com alta tensão.
- Estimar o consumo de energia elétrica a partir da potência elétrica e do tempo de consumo.
- Comparar os benefícios e malefícios de alterar a frota veicular para carros elétricos.

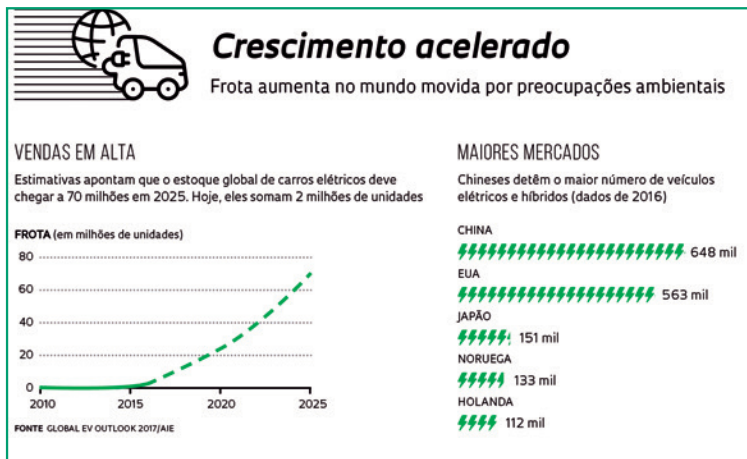
De onde vem a eletricidade?

Quando pensamos em eletricidade e em como ela é crucial no cotidiano, fica evidente a dependência que temos desse tipo de energia. Com o uso mais generalizado da energia elétrica durante os últimos 100 anos, vimos mudanças significativas na forma como geramos, transmitimos e consumimos essa energia.

Vamos refletir acerca de uma questão atual: a alteração da frota veicular para carros elétricos como uma alternativa mais sustentável e que visa a redução da poluição dos grandes centros urbanos e do consumo de combustíveis fósseis. Atualmente existe uma maior preocupação dos governos e empresas de pautarem a produção de bens promovendo a descarbonização, que é a busca da redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂), oriundas das diferentes atividades humanas, para a atmosfera. Um fator interessante da busca pela descarbonização é que a preocupação com a menor emissão de CO₂ não fica restrita ao consumo final de produtos, mas se refere a toda sua cadeia produtiva, ou seja, desde a produção até o descarte.

É nesse aspecto que a análise mais profunda sobre os veículos elétricos se faz importante. Vamos avaliar a contribuição que a alteração da frota veicular teria para a redução de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera. Para tanto, precisamos comparar o processo de abastecimento de um veículo movido a gasolina, a etanol e com base em energia elétrica no Brasil.

No caso de um veículo movido a gasolina, a primeira etapa é a extração de petróleo, que passa pelas refinarias para ser transformado, entre outros produtos, em gasolina. Em posse do combustível, é necessário transportá-lo até os postos de abastecimento. Em geral, esse transporte é realizado por caminhões que são movidos a diesel e emitem CO₂. Chegando ao posto, há um consumo de energia elétrica para o funcionamento geral do estabelecimento, o que gera emissão de CO₂ no processo. Por fim, quando os veículos são abastecidos e começam a andar, a queima da gasolina em cada um deles emite GEEs para a atmosfera.



VASCONCELOS, Y. A ascensão dos elétricos. *Revista Pesquisa Fapesp*, São Paulo, edição 258, ago. 2017. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-ascensao-dos-eletricos/>. Acesso em: 2 set. 2024.

► Ciências da Natureza

O estudo sobre hidrocarbonetos pode ser aprofundado no **Capítulo 17** do **volume de Química**.

Carro movido a gasolina



Emissão de carbono associada aos carros movidos a gasolina. As setas em vermelho representam todos os momentos em que há a emissão de carbono, mas não há relação com a quantidade, ou seja, cada etapa emite quantidade diferente de CO₂ para a atmosfera.

Para o caso dos veículos movidos a etanol, o processo de emissão de gases do efeito estufa é um pouco diferente. A maior fonte de produção do etanol vem das plantações de cana-de-açúcar, sendo emitido para a atmosfera durante o plantio com o uso dos maquinários. No entanto, ao contrário do processo de produção da gasolina, o plantio da cana-de-açúcar também é responsável por absorver parte do CO_2 da atmosfera, devido ao processo de fotossíntese realizado pelas plantas. Depois do plantio, a cana-de-açúcar é transformada em etanol em usinas e o processo se torna semelhante ao da gasolina: o combustível é transportado aos postos e utilizado pelos veículos, emitindo dióxido de carbono no processo.

▶ Ciências da Natureza

O estudo sobre álcoois pode ser aprofundado no **Capítulo 18** do volume de **Química**.

Carro movido a etanol



Ricardo Teles/Pulsar Imagens

Emissão de CO_2 durante o processo de plantio.

Absorção de CO_2 durante o crescimento da cana-de-açúcar.



Rubens Chaves/Pulsar Imagens

Emissão de CO_2 nas usinas para transformar a cana-de-açúcar em etanol.



Alf Ribeiro/Fotoarena

Transporte do etanol.



Felipe Cruz/Stoc-kphoto.com

Funcionamento dos postos de abastecimento.



Joa Souza/Shutterstock.com

Emissão de CO_2 para a atmosfera a partir da queima do combustível.

Emissão de carbono associada aos veículos movidos a etanol. As setas em vermelho representam, também, a emissão de carbono e a seta verde representa a captura de carbono da atmosfera, mas não há relação com a quantidade, ou seja, cada etapa emite quantidade diferente de CO_2 .

Já no caso dos veículos elétricos, embora eles não emitam CO_2 durante a circulação, é fundamental entendermos de onde vem a energia que os abastece, pois isso é o que definirá se sua emissão de dióxido de carbono é maior ou menor quando comparada aos veículos descritos anteriormente.

Existem diferentes tipos de usinas geradoras de energia. No Brasil, por exemplo, a maior parte da energia é gerada a partir das hidrelétricas, enquanto outros países como a China e os Estados Unidos utilizam prioritariamente as termelétricas, que são movidas a partir da queima de carvão ou combustíveis fósseis. São essas fontes de energia que determinam a quantidade de emissão de CO_2 gerada com o uso de carros elétricos, pois eles dependem dessas usinas para serem carregados. Além disso, a energia também precisa ser transportada através das linhas de transmissão, que emitem uma quantidade de CO_2 para serem construídas e mantidas. Sem contar que os postos de abastecimento também emitem CO_2 devido à construção, manutenção e com o próprio uso da energia elétrica. No fim da cadeia produtiva, o carro elétrico não emitirá CO_2 durante a circulação. No entanto, há uma certa emissão associada ao seu processo de construção, assim como ocorre no caso dos veículos movidos a gasolina e a etanol.

Carro elétrico



Munilo Guaidar/Stockphoto.com

Dependendo da fonte de energia utilizada para o funcionamento da usina, a emissão de CO_2 pode ser baixa ou muito alta.



Daniilo Verpa/Folhapress



Fabio Colombini

Emissão de CO_2 para a construção e manutenção da linha de transmissão.



F de Jesus/Shutterstock.com

Emissão de CO_2 para o abastecimento elétrico do posto em que o carregamento do carro é realizado.



Haggardous5000/Shutterstock.com

Sem emissão considerável de CO_2 .

Emissão de carbono associada aos veículos elétricos.

Com base nessa comparação inicial, podemos dizer que a busca por mecanismos de produção de bens e consumo de uma maneira mais sustentável não é algo tão simples, uma vez que existem diversas variáveis relevantes para a compreensão dos processos produtivos. O caso dos veículos elétricos salienta a importância do estudo acerca dos processos associados à energia elétrica e, por consequência, à eletricidade e ao magnetismo, assuntos que serão trabalhados nesse capítulo.

Usinas geradoras de energia

Vimos que a origem da energia elétrica é relevante para o exemplo dos veículos elétricos. No entanto, mesmo que você não tenha ou conheça alguém que tenha esse tipo de veículo, o entendimento de onde a energia elétrica vem e como ela é gerada continua sendo relevante, afinal o uso da eletricidade é parte essencial do cotidiano da maioria das pessoas e ter conhecimento sobre sua geração e transmissão é fundamental.

A energia elétrica que consumimos é produzida nas usinas geradoras de energia, que são complexos industriais cuja finalidade é produzir energia elétrica a partir de outro recurso natural. Existem diferentes tipos de usinas como: hidrelétricas, termoelétricas, solar, eólica, termonuclear, maremotriz etc., sendo que cada uma delas faz uso de uma fonte diferente para gerar energia. Com exceção das usinas fotovoltaicas, todas as outras funcionam a partir de um processo físico chamado indução eletromagnética, que estudaremos mais adiante. Basicamente, é necessário aproveitar a energia cinética de alguma fonte para transformá-la em energia elétrica.

Uma das primeiras fontes de energia utilizadas para a geração de eletricidade foi a queima de carvão, que já era utilizada anteriormente para o funcionamento das máquinas térmicas. No entanto, a sociedade foi capaz de perceber, com o passar do tempo, um dos grandes problemas do uso desta fonte: o aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera e as mudanças climáticas decorrentes dessa emissão. Assim, hoje temos a busca pela diversificação das fontes de energia e por novas fontes renováveis.

É importante salientar que a energia é uma grandeza física que não é criada ou gerada, mas sim, transformada. Logo, a energia elétrica não se comporta de maneira diferente. Dessa forma, quando falamos em “geração” de energia elétrica, nos referimos à transformação de um outro tipo de energia em energia elétrica, pois não é possível simplesmente criar eletricidade.

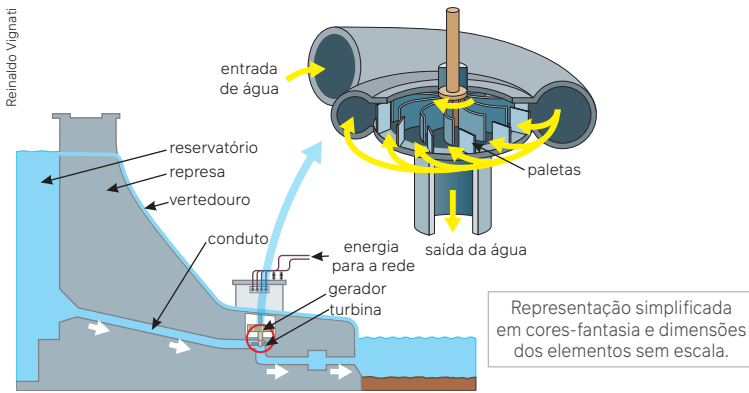
Tipos de energia e as usinas

Existem diversos tipos de energia na natureza e podemos utilizá-los de diferentes formas para que se transformem em energia elétrica. O quadro a seguir traz uma síntese de alguns tipos de energia presentes na natureza.

Tipo de energia	Característica
Energia cinética	Tipo de energia associada ao movimento.
Energia potencial gravitacional	Tipo de energia associada ao armazenamento de energia de um corpo com massa elevado a uma certa altura em um campo gravitacional.
Energia térmica	Tipo de energia associada à agitação molecular.
Energia luminosa	Tipo de energia associada à luz.
Energia nuclear	Tipo de energia associada às ligações entre as partículas que compõem os núcleos dos elementos.
Energia sonora	Tipo de energia associada às ondas sonoras.

Como você pode perceber, os nomes das usinas geradoras de energia são dados de acordo com o tipo de energia que elas utilizam para transformar em energia elétrica. A seguir descreveremos alguns casos.

Usinas hidrelétricas: a partir do represamento de grandes quantidades de água, utilizam a energia potencial gravitacional armazenada para transformá-la em energia cinética, quando a água passa pelos dutos. Por fim, transformam a energia cinética em elétrica.

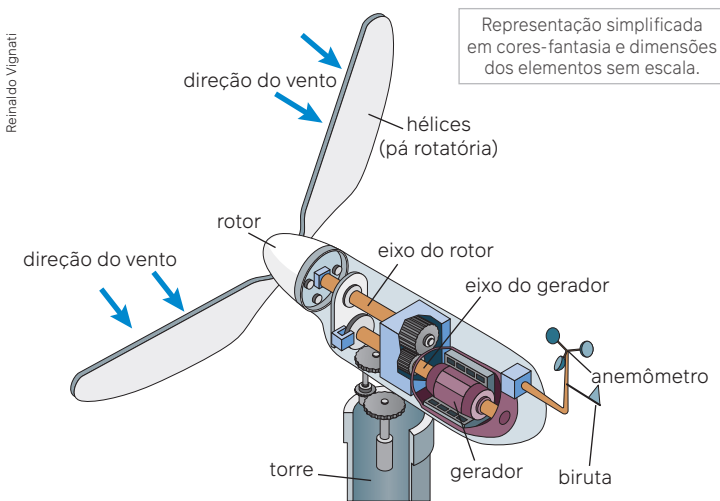


Esquema do funcionamento de uma usina hidroelétrica.



Imagem da usina hidrelétrica de Itaipu no Rio Paraná, entre o Brasil e o Paraguai, 2021.

Usinas eólicas: aproveitam a energia cinética dos ventos para transformá-la em energia elétrica

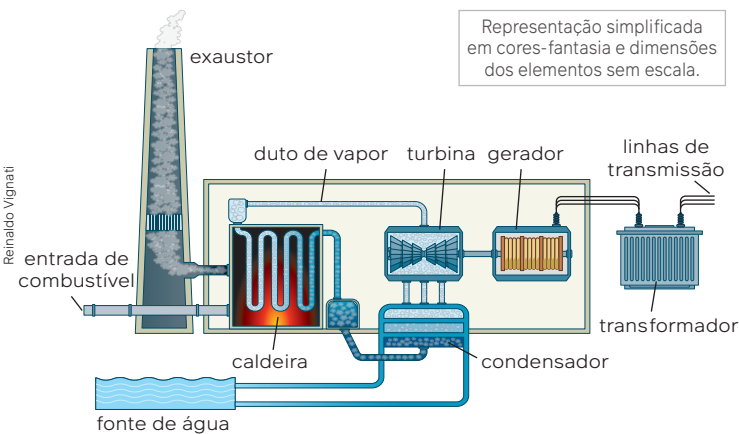


Esquema do funcionamento de uma usina eólica.



Parque eólico em praia no Ceará, 2023.

Usinas termoeletricas: a partir da queima de combustíveis fósseis, utilizam a energia liberada pela combustão para aquecer grandes quantidades de água, fazendo com que ela saia do estado líquido e vire um vapor que, por sua vez, impulsiona uma turbina gerando energia cinética. Essa energia é utilizada para ser convertida em energia elétrica utilizando um gerador.



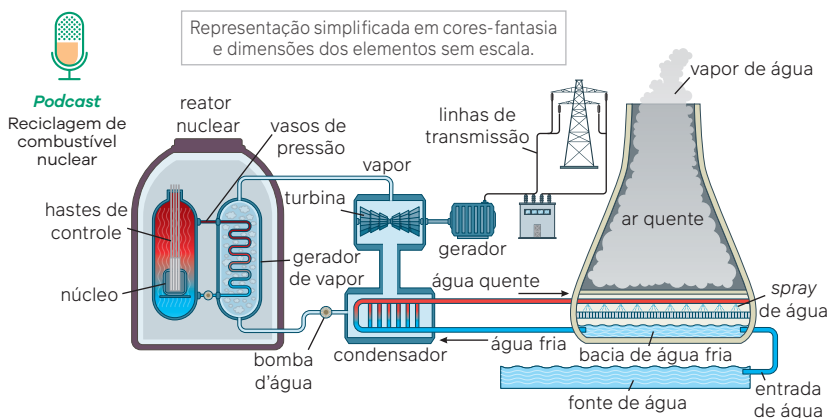
Esquema do funcionamento de uma usina termoeletrica.

Fonte: os esquemas foram elaborados apenas para fins didáticos.



Usina Termoeletrica do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, em São Gonçalo do Amarante (CE), 2022.

Usinas term nucleares: as term nucleares funcionam de maneira muito semelhante às termoeletricas. A principal diferenca entre elas é que as term nucleares não funcionam a partir da queima de combustiveis fósseis, mas da energia térmica liberada após a fissão de diferentes núcleos atômicos.



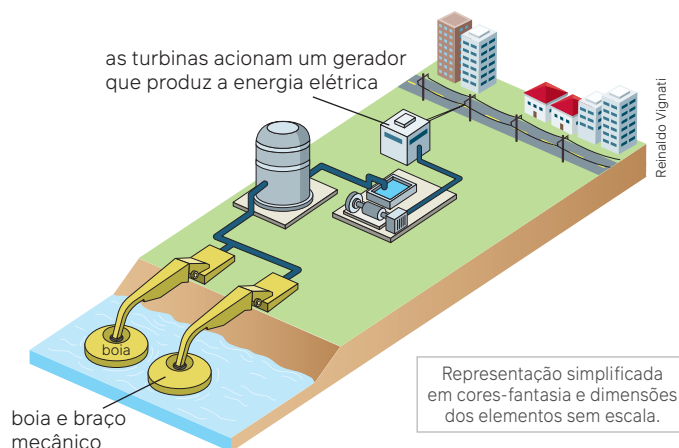
Usina term nuclear de Angra dos Reis (RJ), 2022.

Esquema do funcionamento de uma usina term nuclear.

Usinas maremotriz: esse tipo de usina aproveita a energia cinética das ondas do mar para então transformá-la em energia elétrica. Existem diferentes formas de aproveitar essa energia. Assim, é possível observar diferentes tipos de usinas maremotriz. Atualmente a instalação desse tipo de usina é cara quando comparada com as demais e, por esse motivo, ainda não é muito explorada.

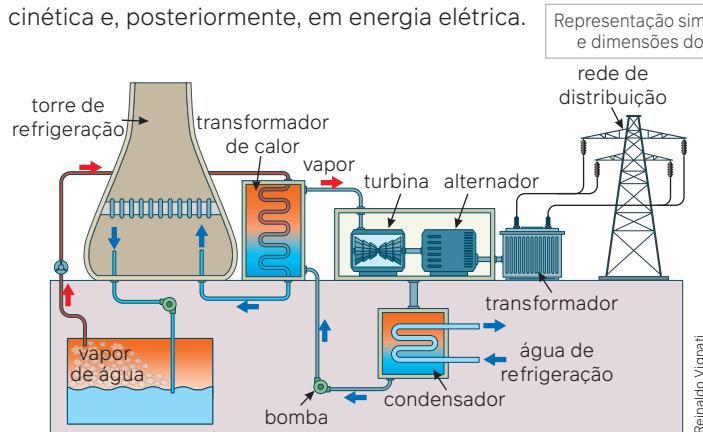
► Ciências da Natureza

O estudo sobre fissão nuclear pode ser aprofundado no **Capítulo 2** do **volume de Química**.



Usina maremotriz no Terminal de Múltiplas Utilidades de Pecém, em São Gonçalo do Amarante (CE), 2012.

Usinas geotérmicas: utilizam a energia térmica proveniente do núcleo da Terra para transformá-la em energia cinética e, posteriormente, em energia elétrica.



Usina geotérmica na Islândia, 2006.

Esquema do funcionamento de uma usina geotérmica.

Fonte: os esquemas foram elaborados apenas para fins didáticos.

Usinas fotovoltaicas: esse tipo de usina é capaz de transformar a radiação solar em energia elétrica com o uso dos painéis fotovoltaicos. O desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias mais eficientes para painéis solares modernos foi possível a partir da compreensão do efeito fotoelétrico.



Luis Salvatore/Pulsar Imagens

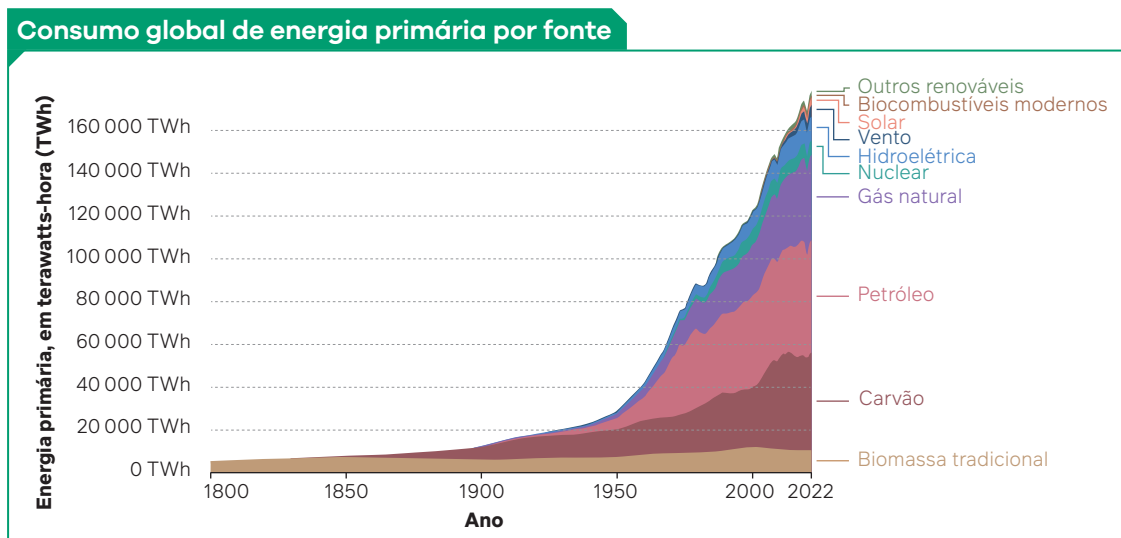
Painéis solares de usina fotovoltaica em Arinos (MG), 2023.

Os tipos de usinas apresentados anteriormente são os mais comumente encontrados. Cada país investe na construção de diferentes usinas, o que está relacionado com a disponibilidade de recursos naturais, bem como o capital que possui para investir na construção e manutenção de cada tipo de usina. Atualmente, com as medidas que visam promover ações mais sustentáveis e o uso consciente de recursos naturais, é possível observar esforços de diferentes países para diversificar sua **matriz energética** com **fontes renováveis de energia**. Veremos agora o que são esses dois conceitos em destaque.

Fontes de energia, matriz elétrica e matriz energética

Vimos anteriormente diferentes tipos de energia e como elas estão associadas à geração de energia elétrica por meio de suas respectivas usinas. As fontes de energia utilizadas são classificadas em duas grandes categorias:

- **Fontes renováveis:** essas fontes são consideradas inesgotáveis, uma vez que sua disponibilidade na natureza é renovada constantemente. Alguns exemplos dessas fontes são: hídrica (advinda principalmente das águas dos rios, associadas com o ciclo das águas), oceânica (energia cinética associada às marés), eólica (energia cinética associada ao vento), solar (energia proveniente do Sol), biomassa (proveniente da decomposição de matéria orgânica), geotérmica (energia térmica do interior da Terra).
- **Fontes não renováveis:** essas fontes são aquelas consideradas como esgotáveis por terem disponibilidade finita na natureza. Alguns exemplos são: fontes fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural) e energia nuclear.



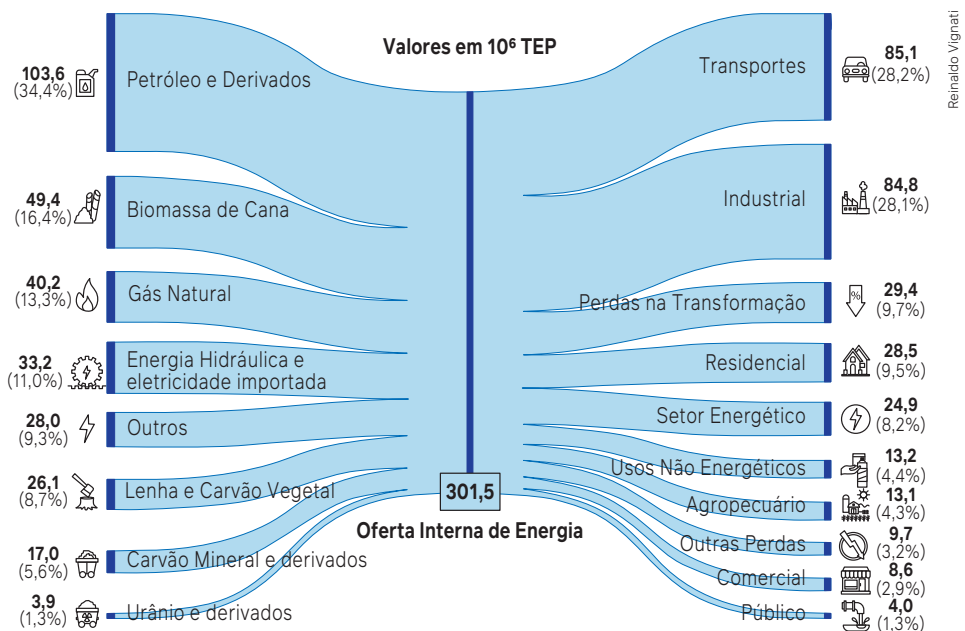
Renaldo Vignati



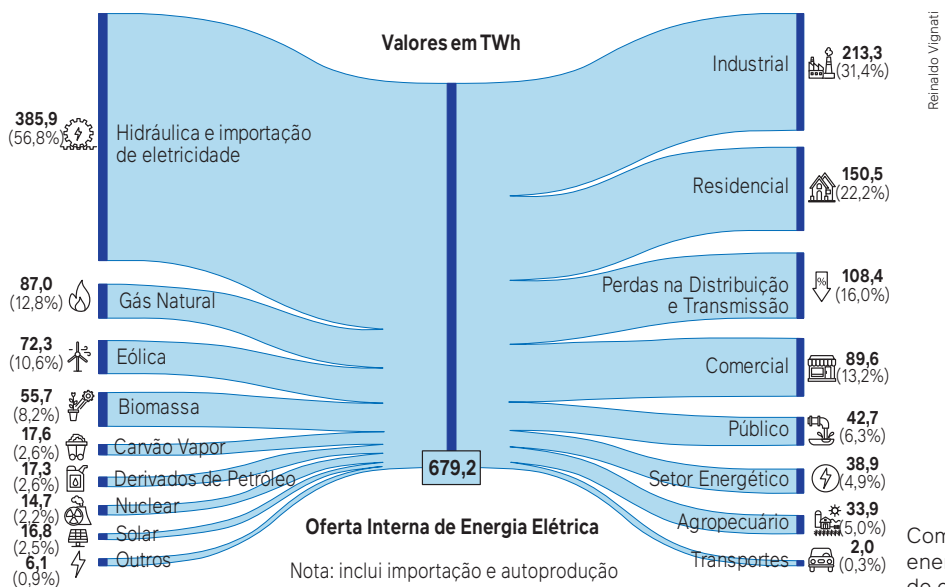
O gráfico mostra tanto o aumento do consumo de energia por fonte, como a recente diversificação das fontes utilizadas.

Fonte: RITCHIE, H.; ROSER, M.; ROSADO, P. Energy Production and Consumption. *Our World in Data*, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption>. Acesso em: 2 set. 2024.

Damos o nome de **matriz energética** ao conjunto das fontes de energia que utilizamos para realizar as atividades cotidianas. A composição da matriz energética dos países depende de fatores como a geografia, o ambiente, social, político e econômico. É importante salientar que a matriz energética é diferente da matriz elétrica. A **matriz energética** é o conjunto de fontes de energia utilizadas por um país ou pelo mundo nas mais diversas atividades, como transporte, alimentação, eletricidade etc., enquanto a **matriz elétrica** refere-se apenas às fontes de energia que são utilizadas para a geração de energia elétrica.



Nota: Os percentuais foram calculados com base na Oferta Total Interna



Nota: inclui importação e autoprodução

Comparação do fluxo energético e do fluxo de energia elétrica.

Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Balanco Energético Nacional 2022*: ano base 2021. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 4 set. 2024.

Nas imagens apresentadas, os valores de energia foram fornecidos em duas unidades de medidas diferentes: TEP e TWh.

TEP é a sigla para Tonelada Equivalente de Petróleo e equipara-se à quantidade de energia obtida a partir da queima de uma tonelada de petróleo. Para termos uma noção comparativa, 1 TEP é igual a 42 gigajoule, aproximadamente. O terawatt-hora (TWh), por sua vez, é igual a 1 trilhão de watt-hora, que é a quantidade de energia gerada por uma potência de 1 watt durante uma hora. 1 watt-hora (Wh) é igual a 3 600 J.



Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs) são um conjunto de 17 metas estabelecidas pela Assembleia Geral das Nações Unidas que visam estimular o desenvolvimento social e econômico de maneira sustentável. A sétima meta está relacionada com a energia limpa e acessível. De acordo com o site brasileiro, os objetivos específicos dessa área são:

Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos

- 7.1 Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia
- 7.2 Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global
- 7.3 Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética
- 7.a Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa
- 7.b Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos nos países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio.

ONU BRASIL *Os objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil: Energia limpa e acessível.* Brasília, DF: Nações Unidas Brasil, 2019. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>. Acesso em: 2 set. 2024.



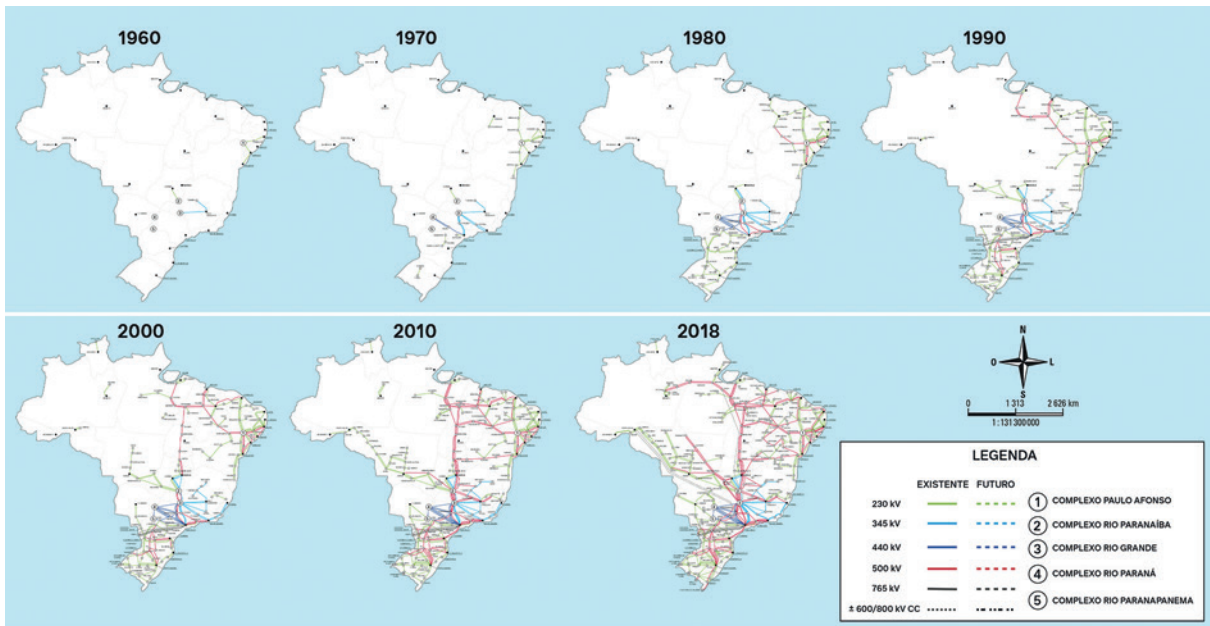
Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs) que deverão ser atingidos até 2030.

©2024 Nações Unidas no Brasil

Transmissão de energia elétrica

Depois de ser gerada, é necessário que a energia elétrica seja transmitida para a população. O processo de transmissão da energia desde a usina até as residências, estabelecimentos e indústrias passa por diversas etapas com diferentes especificidades, a fim de garantir a máxima eficiência da transmissão e a segurança das pessoas e do ambiente.

Evolução da transmissão



Evolução das linhas de transmissão de energia elétrica no Brasil.

Fonte: ELETROBRAS. *Evolução da transmissão*. [S. l.]: Eletrobrás, [2018]. Disponível em: https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/Evolu%C3%A7%C3%A3o%20da%20Transmiss%C3%A3o_horizontal%202027%20-%20880x440mm%20_2018.pdf. Acesso em: 4 set. 2024.

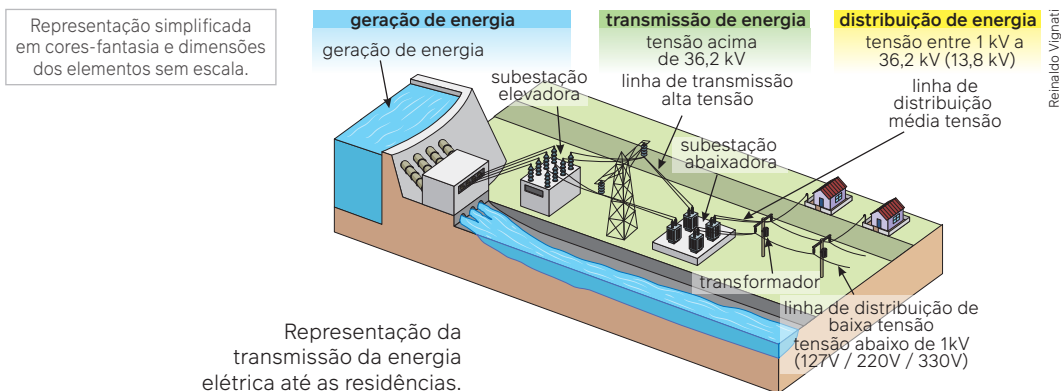
Historicamente, a geração de energia elétrica ocorria nas proximidades do local de consumo, o que difere da realidade atual. Você já se perguntou de onde vem a energia elétrica que abastece a sua residência?

Trocando ideias

1. Analise os mapas apresentados na imagem, relacionando o aumento da complexidade das redes de transmissão ao longo do tempo e do território.
2. Pesquise onde se localiza a usina geradora de energia que abastece a região da sua escola ou residência.
3. Qual é a distância entre a usina e o local em que ela abastece?
4. Qual é o local mais distante que essa usina abastece?

Como ocorre essa transmissão?

Para entendermos como a energia é transmitida até as residências, vamos fazer o caminho completo deste transporte, saindo das usinas e chegando até as casas.



Representação da transmissão da energia elétrica até as residências.

Após sair das usinas com a tensão elétrica entre 6 kV e 25 kV, a energia passa por uma subestação elevadora de tensão. Neste local, a tensão é elevada para valores próximos de 700 kV e será transmitida através das linhas de transmissão de alta-tensão até uma subestação abaixadora de tensão, que irá reduzir a tensão para valores usualmente próximos de 13,8 kV. Saindo dessas subestações abaixadoras, a energia será transmitida pelas linhas de média tensão até passarem pelos transformadores, que ficam nos postes próximos aos locais de residência, e abaixarem a tensão para valores típicos de 110 V ou 220 V. Por fim, a energia passa pela linha de distribuição de baixa tensão e é distribuída para as casas. A medição do consumo de energia elétrica é feita a partir do relógio medidor de consumo, ou dos relógios de luz. Eles são os responsáveis por ligar os cabos de distribuição de energia que saem das ruas ao circuito elétrico residencial.



Daniel Cymbalista/Pulsar Imagens

Medidor de consumo de energia elétrica.

Alta e baixa tensão elétrica

Analisando o processo de transmissão da energia, é possível notar que há momentos em que a tensão elétrica é mais elevada e em outros momentos ela diminui. Por que isso ocorre?

Primeiramente é importante entender o que é essa grandeza. A tensão elétrica, ou diferença de potencial elétrico, é uma grandeza física que denota a diferença de potencial elétrico (U) entre dois pontos. Em outras palavras, é a diferença da quantidade de energia potencial elétrica armazenada (ΔE), por unidade de carga (ΔQ), entre dois pontos. Matematicamente, podemos representá-la como:

$$U = \frac{\Delta E}{\Delta Q}$$

Assim, podemos dizer que a tensão elétrica denota a quantidade de trabalho que deve ser realizado para que uma quantidade unitária de carga elétrica possa se movimentar. No sistema internacional (SI), a unidade de medida da tensão elétrica é o volt (V), a unidade de medida da energia é o joule (J) e a unidade de carga é coulomb (C).

Corrente elétrica

Outra grandeza fundamental para entendermos o motivo pelo qual a energia elétrica é transmitida em alta tensão é a corrente elétrica. Pense na ideia de fluxo de água em um rio. Quando nos referimos a ela, estamos considerando o fluxo de água que passa pela largura do rio. Quanto maior a quantidade de água que passa nesta largura durante um determinado tempo, dizemos que maior é o fluxo de água. A mesma ideia pode ser utilizada para o entendimento do que é a corrente elétrica, uma vez que a corrente elétrica pode ser definida como o fluxo de elétrons em um material condutor. Considere uma seção transversal feita de um fio condutor. Quanto maior for a quantidade de elétrons que passam por essa seção em um determinado intervalo de tempo, maior será o valor da corrente elétrica naquele fio. Matematicamente, podemos definir a intensidade da corrente elétrica (i) como a quantidade de elétrons que passa pela seção reta (S) em um intervalo de tempo (Δt):

$$i = \frac{Q}{\Delta t}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a quantidade de carga (Q) tem unidade de coulomb (C), o intervalo de tempo (Δt) é medido em segundos e a corrente é medida em ampères (A), ou seja, $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$.

Relacionado com a passagem de corrente elétrica, há um fenômeno chamado efeito Joule, que é a transformação de parte da energia elétrica associada ao movimento dos elétrons em energia térmica. Isso ocorre devido às colisões dos elétrons dos átomos que compõem a estrutura da matéria onde esse elétron está se movimentando. Essas colisões são responsáveis pela transferência de momento linear entre essas partículas, o que promove a maior agitação dos átomos do material. Como definimos a temperatura a partir do grau de agitação molecular, podemos então compreender o motivo pelo qual a temperatura do material aumenta e como a energia elétrica se transforma em energia térmica. A dissipação de energia elétrica que ocorre por efeito Joule é utilizada para o funcionamento de aparelhos como o chuveiro elétrico ou alguns tipos de fogões elétricos. No entanto, muitas vezes o efeito Joule é um fenômeno indesejado, uma vez que ele é responsável pela dissipação de parte da energia elétrica que gostaríamos de aproveitar. Um exemplo disso é o caso dos carregadores. Você já deve ter percebido que quando coloca o seu celular para carregar, o carregador costuma aquecer. Isso acontece devido ao efeito Joule e significa que parte da energia elétrica que deveria ser utilizada para carregar o celular está na verdade sendo dissipada na forma de energia térmica, que não será aproveitada.

Essa mesma situação acontece nas grandes linhas de transmissão, gerando dissipação da energia elétrica antes mesmo dela chegar até as residências. E essa é, precisamente, a justificativa da energia elétrica ser transmitida com alta tensão elétrica. Relacionando a corrente elétrica e a tensão elétrica há o conceito de potência elétrica (P), que denota a variação da energia elétrica em função do tempo, e pode ser expressa com a seguinte equação:

$$P = i \cdot U$$

Aqui vemos que a corrente e a tensão são grandezas inversamente proporcionais. No caso da transmissão de energia, a potência terá um valor constante pré-determinado. Assim, buscando minimizar a perda de energia elétrica por efeito Joule, precisamos reduzir o valor da corrente elétrica. Como a potência não terá seu valor alterado, a saída possível é o aumento da tensão, o que justifica a energia elétrica ser transmitida com alta tensão elétrica.

Consumo de energia elétrica

Depois da energia elétrica ser gerada e transmitida, ela é consumida por diversos setores da sociedade, como as indústrias, o comércio e as residências.

Para saber quanto de energia elétrica consumimos, podemos analisar a potência elétrica dos aparelhos que utilizamos cotidianamente. Você já deve ter escutado falar que alguns aparelhos consomem mais energia que outros, como o chuveiro elétrico ou ar-condicionado. Isso ocorre porque a potência elétrica desses aparelhos é maior quando comparada com outros eletrônicos.

Para determinarmos o consumo de energia elétrica de um determinado aparelho, podemos fazer o uso do conceito de potência elétrica (P), ou seja, quanto o aparelho elétrico consome energia (ΔE) em um intervalo de tempo (Δt), conforme a equação:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Assim, se quisermos estimar o consumo de energia, basta multiplicar a potência do aparelho pelo seu tempo de uso. No sistema internacional (SI), a unidade de potência é o watt (W), a unidade de energia é joule (J) e o intervalo de tempo é mensurado em segundos (s). No entanto, quando se trata do consumo de energia elétrica, é mais comum utilizar a unidade de quilowatt-hora (kWh). A potência, nesse caso, é expressa em quilowatt (kW), sendo $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$, e o tempo é usualmente apresentado em horas (h). Essa unidade aparece com mais frequência porque é mais conveniente estimar o tempo de uso dos aparelhos em horas do que em segundos.

Se liga

Relacionando equações

Veja como a substituição das equações apresentadas anteriormente, nos leva à seguinte relação:

Considere:

$$U = \frac{\Delta E}{\Delta Q}; i = \frac{Q}{\Delta t} \text{ e } P = i \cdot U.$$

Portanto:

$$P = i \cdot U \Rightarrow P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta E}{\Delta Q} \Rightarrow P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Saiba mais

Eficiência energética: Selo PROCEL, Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e o selo Compnet

Talvez você já tenha reparado na existência dessas etiquetas em algum aparelho elétrico.

O selo PROCEL de Eficiência Energética foi criado para indicar aos consumidores quais são os produtos que possuem melhor eficiência energética, ou seja, ao adquirir um produto que possui esse selo, você é assegurado de que ele possui maior eficiência do que os outros vendidos na loja que não possuem o mesmo selo. O selo possui esse nome pois está associado ao Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica (PROCEL).

As Etiquetas Nacionais de Conservação de Energia também sinalizam a preocupação nacional com o consumo consciente de energia elétrica. As ENCEs são etiquetas que indicam a faixa de eficiência energética dos aparelhos e é específica para cada tipo de dispositivo comprado. Assim, ao comprar um produto é possível avaliar qual é a eficiência que ele possui quando comparado aos demais da mesma categoria. O selo PROCEL tem maior foco em eletrodomésticos.



Selo PROCEL e Selo Compnet.

3. Pela seção transversal de um material condutor registra-se a passagem de 24 C em um minuto. Nesta situação, qual é a intensidade da corrente elétrica que atravessa o material? Forneça a resposta na unidade do Sistema Internacional.

Resolução

Para resolver a questão, precisamos lembrar que calculamos a intensidade da corrente elétrica pela razão entre a quantidade de carga que atravessa uma seção transversal em função do tempo. Assim:

$$i = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow i = \frac{24}{60} \Rightarrow i = 0,4 \text{ A}$$

Note que é necessário converter o tempo para segundos a fim de obter o resultado na unidade do SI (ampère).

4. Em uma atividade experimental verifica-se que a corrente elétrica que passa por um fio condutor é igual a 3,2 A. Nessa situação, quantas partículas atravessam uma seção transversal deste fio em um minuto? Considere que a carga de um elétron é igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Resolução

Para resolver esta questão, podemos inicialmente determinar a quantidade de carga que atravessa o material pela definição de corrente elétrica:

$$i = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow 3,2 = \frac{Q}{60} \Rightarrow Q = 192 \text{ C}$$

Agora, sabendo que 1 elétron possui carga igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, temos:

1 elétron _____ $1,6 \cdot 10^{-19}$ C

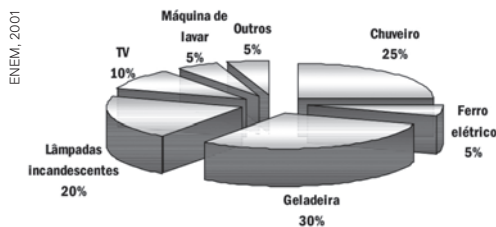
X elétrons _____ 192 C

$$1,6 \cdot 10^{-19} x = 192 \Rightarrow x = 120 \cdot 10^{19} \Rightarrow x = 1,2 \cdot 10^{21} \text{ elétrons}$$

Atividades propostas



A distribuição média, por tipo de equipamento, do consumo de energia elétrica nas residências no Brasil é apresentada no gráfico.



1. (Enem – 2001) Em associação com os dados do gráfico, considere as variáveis:

- I. Potência do equipamento.
- II. Horas de funcionamento.
- III. Número de equipamentos.

O valor das frações percentuais do consumo de energia depende de

- a) I, apenas.
 - b) II, apenas.
 - c) I e II, apenas.
 - d) II e III, apenas.
 - e) I, II e III.
2. (Enem – 2001) Como medida de economia, em uma residência com 4 moradores, o consumo mensal médio de energia elétrica foi reduzido para 300 kWh. Se essa residência obedece à distribuição dada no gráfico, e se nela há um único chuveiro de 5 000 W, pode-se concluir que o banho diário de cada morador passou a ter uma duração média, em minutos, de
- a) 2,5.
 - b) 5,0.
 - c) 7,5.
 - d) 10,0.
 - e) 12,0.

3. (UEA – 2022) Uma corrente elétrica de intensidade igual a 0,005 A percorre um fio condutor durante 120 s. Nesse tempo, o valor absoluto da quantidade de carga que atravessou uma seção reta desse condutor tem valor igual a

- a) 0,3 C.
- b) 0,5 C.
- c) 0,6 C.
- d) 0,8 C.
- e) 1,0 C.

4. (Unip-Medicina – 2023) Em um ferro de passar está colada a etiqueta mostrada na figura, que traz especificações técnicas do aparelho.



Unip-Medicina, 2023

Quando estiver em funcionamento com as especificações indicadas na etiqueta, esse ferro de passar será percorrido por uma corrente elétrica de intensidade:

- a) 0,5 A.
 - b) 20 A.
 - c) 12 A.
 - d) 10 A.
 - e) 0,05 A.
5. (Enem – 2006) Na avaliação da eficiência de usinas quanto à produção e aos impactos ambientais, utilizam-se vários critérios, tais como: razão entre produção efetiva anual de energia elétrica e potência instalada ou razão entre potência instalada e área inundada pelo reservatório. No quadro seguinte, esses parâmetros são aplicados às duas maiores

Circuitos elétricos

Marcelorpc/Shutterstock.com



Raios durante uma tempestade no Estado do Rio de Janeiro.

▼ Para refletir

1. Sabemos que, para acender uma lâmpada, precisamos apertar no interruptor. Como o fato de apertar o interruptor está relacionado com o acender da lâmpada?
2. Quando precisamos trocar uma lâmpada ou mexer em qualquer parte elétrica de nossas residências, é importante que o disjuntor seja desligado. Por que isso é importante? Qual é o papel do disjuntor?
3. O que são os raios no céu e por que eles ocorrem?
4. Por que os pássaros não levam choque quando pousam em fios de alta tensão?

Objetivos do capítulo

- Reconhecer a relação entre tensão, resistência e corrente.
- Operar matematicamente com a primeira e segunda lei de Ohm.
- Compreender o que são os geradores e receptores reais.
- Modelizar os geradores e receptores reais por meio de gráficos e equações.
- Diferenciar qualitativamente as associações em paralelo e em série.
- Calcular a resistência equivalente de associações de resistores.

Circuitos elétricos

Para que possamos utilizar a energia elétrica em diferentes locais, é necessário que haja circuitos elétricos, que são formados por diferentes componentes como geradores, resistores, capacitores, interruptores etc., por meio de um fio condutor. Neste capítulo, estudaremos o que são os circuitos elétricos, quais são as propriedades de alguns dispositivos que podem ser ligados a eles, entre outras especificidades.

No capítulo anterior, para entendermos o motivo de a energia elétrica ser transmitida com alta tensão, estudamos o conceito de tensão elétrica e corrente elétrica. Vamos retomar esses conceitos para compreendermos os circuitos elétricos.

Corrente elétrica

A corrente elétrica pode ser compreendida como o fluxo de elétrons ou íons que atravessa uma certa área. No caso de um fio condutor, a corrente elétrica é a quantidade de elétrons que passa por uma seção transversal do fio em um intervalo de tempo definido. Matematicamente, a intensidade da corrente elétrica (i) é calculada pela razão entre a variação da quantidade total de carga (ΔQ) que passa pela seção transversal em um intervalo de tempo (Δt):

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a quantidade de carga (Q) tem unidade de coulomb (C), o intervalo de tempo (Δt) é medido em segundos e a corrente é medida em ampères (A), ou seja, $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$.

Embora a corrente elétrica seja fornecida em ampère, você pode encontrar submúltiplos dessa grandeza, conforme a conveniência dessas subunidades para descrever situações e fenômenos físicos. Alguns dos submúltiplos mais frequentes são:

- miliampère = $1 \text{ mA} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ A}$
- microampère = $1 \text{ }\mu\text{A} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ A}$

Corrente alternada e corrente contínua

Se você já parou para olhar as etiquetas de aparelhos eletrônicos, como os carregadores de celular ou *notebooks*, já deve ter visto os símbolos ao lado.

Veja que, no *INPUT* (entrada), há o primeiro símbolo e, no *OUTPUT* (saída), aparece o segundo. Isso acontece porque o primeiro símbolo apresentado indica que a corrente é alternada, e o segundo que a corrente elétrica é contínua. Dessa maneira, podemos dizer que o tipo de corrente que sai da tomada e vai para o carregador de *notebook* é alternada, mas, depois que passa pelo carregador e vai para o *notebook* para carregá-lo, é transformada em corrente contínua. Mas o que são esses tipos de corrente?

A corrente alternada, cuja sigla é CA, ou AC (do inglês, *alternating current*), é aquela que não possui um único sentido para fluir, ou seja, o fluxo de elétrons oscila entre os dois sentidos possíveis do fio. As correntes elétricas que são geradas pelas usinas possuem essa característica. No Brasil, a frequência de oscilação da corrente é, em média, de 60 Hz (60 oscilações por segundo). Veja que isso é indicado na etiqueta apresentada acima, e ao lado do símbolo de corrente alternada vemos a indicação de magnitude (50/60Hz).

Por outro lado, a corrente contínua, cuja sigla é CC, ou DC (do inglês, *direct current*), é aquela que possui apenas um sentido de fluxo das partículas carregadas. Esse tipo de corrente é produzido por pilhas ou baterias e, em geral, é a que alimenta os aparelhos eletrônicos após a transformação da corrente alternada em contínua, como no exemplo do carregador de *notebook*.



Seika Chujo/Shutterstock.com



AC

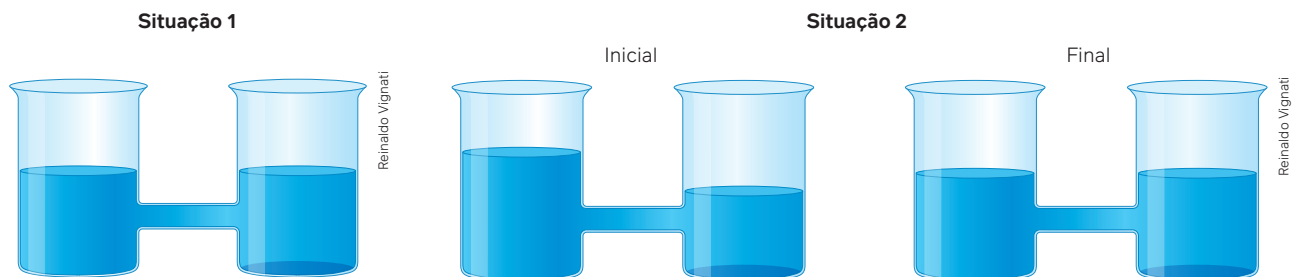


DC

Adilson Secco

Tensão elétrica

Para que seja possível que a corrente elétrica surja, ou seja, que haja movimento de elétrons ou íons por um material condutor, é necessário que exista uma diferença de potencial elétrico (DDP) entre os dois pontos em que o movimento acontecerá. Compreender o que é a DDP pode ser simples ao se comparar a corrente de água em uma tubulação e a diferença de energia potencial gravitacional que propicia o movimento de um volume d'água. Considere que as moléculas que compõem a água serão os elétrons, e que a quantidade de água armazenada representa o potencial elétrico. Analise as situações a seguir:



No primeiro caso, podemos dizer que não haverá movimentação da água, uma vez que temos uma situação de equilíbrio entre a quantidade de água armazenada nos dois tanques. Na comparação, isso significa que não haverá fluxo de elétrons quando o potencial elétrico for igual em dois pontos do fio, ou seja, não há diferença de potencial elétrico. Já na segunda situação, podemos dizer que haverá movimentação de água na configuração inicial, saindo do tanque com maior quantidade de água armazenada em direção ao de menor, até que a situação entre em equilíbrio novamente (final). Essa situação representa o caso em que temos uma diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um fio e observamos a passagem de corrente elétrica.

Dessa maneira, podemos dizer que a diferença de potencial elétrico e a corrente são grandezas diretamente proporcionais, ou seja, quanto maior for a diferença de potencial elétrico, maior será a corrente observada.

A tensão elétrica é definida como a diferença de potencial elétrico entre dois pontos, ou seja, é a diferença da quantidade de energia elétrica armazenada (ΔE) por unidade de carga (ΔQ) entre dois pontos. Matematicamente, definimos a tensão elétrica (U) como:

$$U = \frac{\Delta E_{\text{elétrica}}}{\Delta Q}$$

Uma outra forma de nos referirmos à tensão elétrica é chamando-a de **voltagem**, fazendo uma referência à unidade de medida da tensão (volts).

Saiba mais

Você já se perguntou por que nunca observou raios em dias de nuvens como as das imagens a seguir?



David P. Lewis/Shutterstock.com



Rirraum/iStockphoto.com

Em geral, sabemos identificar quando a nuvem pode gerar raios ou não, mas você sabe explicar por que algumas nuvens podem gerá-los e outras não?

Os raios são descargas elétricas que se formam dentro das nuvens, onde há pequenos cristais de gelo e gotas d'água que colidem frequentemente. Essas colisões são capazes de eletrizar matéria, o que ocasiona um acúmulo de cargas elétricas na base das nuvens. Conforme esse acúmulo aumenta, ocorre a indução elétrica de cargas opostas na superfície terrestre. Note que esse acúmulo de diferencial de cargas na base das nuvens e no chão gera uma **diferença de potencial elétrico** (DDP), o que acontece até que a diferença de tensão seja tão alta que se torna capaz de vencer a rigidez dielétrica do ar, gerando uma descarga elétrica entre a nuvem e o chão para que não haja mais DDP entre as superfícies.

Embora seja mais frequente observarmos os raios que saem das nuvens em direção ao chão, também é possível ocorrer raios entre as nuvens e saindo do chão e indo para as nuvens.

Resistência elétrica

Os materiais possuem diferentes capacidades de conduzir corrente elétrica. Por exemplo, você já ouviu falar que é perigoso ficar no mar em um dia de tempestades com raios? Ou, ainda, já ouviu dizer que não se pode mexer com água e eletricidade ao mesmo tempo? Isso se dá pelo fato de que a água é um bom condutor de eletricidade devido aos minerais presentes nela. Assim, no caso do raio caindo no mar, mesmo que ele caia a uma longa distância, por você estar na água, a descarga elétrica é conduzida facilmente, e você pode sofrer as consequências dele. Para evitar dor de cabeça. Por outro lado, existem materiais que não são bons condutores de eletricidade, a eles damos o nome de **isolantes**.

Por trás da classificação de materiais entre condutores ou isolantes elétricos, está a grandeza física que chamamos de **resistência elétrica** (R), definida como a capacidade dos materiais de resistirem à passagem de corrente elétrica, ou seja, quanto maior for a resistência elétrica de um material, maior será a capacidade que ele terá de resistir à passagem de corrente. Dessa forma, podemos dizer que a corrente elétrica e a resistência elétrica são grandezas inversamente proporcionais. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida da resistência elétrica é o **ohm**, denotado com a letra grega ômega maiúscula (Ω).

Resistividade

Você já reparou nas diferentes espessuras dos fios que estão presentes no nosso cotidiano? Por exemplo, já comparou o diâmetro dos fios presentes nos postes nas ruas e como eles são diferentes dos fios dos aparelhos elétricos que usamos em casa e como estes, por sua vez, são diferentes dos fios dos carregadores dos celulares ou fones? Isso acontece porque o diâmetro dos fios é um importante fator para a definição de sua resistência elétrica. O físico alemão Georg Ohm (1789-1854) foi quem descreveu matematicamente a dependência da resistência elétrica com outras características físicas do fio, verificando experimentalmente que a resistência elétrica dependia da espessura (que denotamos por A , ou seja, a área da seção transversal do fio), do seu comprimento (l) e da resistividade elétrica do material do fio (ρ). A conclusão à qual se chegou foi a de que a resistência pode ser denotada matematicamente como:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade da resistência elétrica é o ohm (Ω), a resistividade, denotada pela letra grega rô minúscula (ρ), possui unidade $\Omega \cdot m$, a unidade do comprimento é o metro (m) e a unidade da área da seção transversal é metro ao quadrado (m^2).

A equação apresentada é conhecida como resultado da segunda lei de Ohm. Vale ressaltar que essa lei destaca como a resistência elétrica é uma propriedade dos objetos, por exemplo, os fios condutores, enquanto a resistividade é uma característica dos materiais, como o cobre.

► Ciências da Natureza

O estudo sobre dissociação de sais em solventes pode ser aprofundado no **Capítulo 4** do **volume de Química**.



Comparação da espessura de diferentes fios condutores.

Saiba mais

Resistores de chuveiro

Se você tem um chuveiro elétrico em casa, provavelmente já passou pela situação de estar tomando um banho quentinho quando, de repente, a água começa a ficar gelada. Se você não passou por essa situação, provavelmente conhece alguém que já tenha passado. Você já teve a curiosidade de saber como esses chuveiros funcionam? Dentro desses aparelhos, podemos encontrar um resistor como o da imagem ao lado.

Quando mudamos a chave que deixa a água mais quente ou mais fria, o que estamos fazendo de fato é alterando o comprimento do resistor que estamos utilizando para transformar energia elétrica em energia térmica por efeito Joule. Quanto menor o comprimento do fio, menor será a resistência elétrica e, por consequência, maior será a quantidade de corrente elétrica que passa por ele. Assim, o chuveiro produzirá um maior aquecimento da água, pois converterá mais energia elétrica em energia térmica.



Rita Barreto/Fotocarena

Condutores e isolantes

Definimos a capacidade de um material de ser condutor ou isolante a partir da sua resistividade elétrica. Quanto maior for a resistividade de um material, menor é a capacidade que ele possui de conduzir eletricidade. A tabela a seguir mostra o valor da resistividade de diferentes materiais. Compare os valores dos metais (materiais condutores) e dos isolantes para perceber o quão diferentes eles são.

Valores de resistividade na temperatura ambiente (20 °C)					
	Substância	ρ ($\Omega \cdot m$)		Substância	ρ ($\Omega \cdot m$)
Condutores			Semicondutores		
Metais	Prata	$1,47 \cdot 10^{-8}$	Isolantes	Carbono puro (grafita)	$3,5 \cdot 10^{-5}$
	Cobre	$1,72 \cdot 10^{-8}$		Germânio puro	0,60
	Ouro	$2,44 \cdot 10^{-8}$		Silício puro	2 300
	Alumínio	$2,75 \cdot 10^{-8}$		Âmbar	$5 \cdot 10^{14}$
	Tungstênio	$5,25 \cdot 10^{-8}$		Vidro	$10^{10} - 10^{14}$
	Aço	$20 \cdot 10^{-8}$		Lucita	$> 10^{13}$
	Chumbo	$22 \cdot 10^{-8}$		Mica	$10^{11} - 10^{15}$
	Mercúrio	$95 \cdot 10^{-8}$		Quartzo (fundido)	$75 \cdot 10^{16}$
Ligas	Manganina (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%)	$44 \cdot 10^{-8}$	Enxofre	10^{15}	
	Constantan (Cu 60%, Ni 40%)	$49 \cdot 10^{-8}$	Tetrafluoretileno	$> 10^{13}$	
	Nicromo	$100 \cdot 10^{-8}$	Madeira	$10^8 - 10^{11}$	

SANTOS, E. J. C. Disciplina Física II – Licenciatura em química: Tabela Resistividade elétrica de alguns materiais. In: IFRN, Natal, [20--]. Disponível em: <https://docentes.ifrn.edu.br/edsonjose/disciplinas/fisica-ii-licenciatura-em-quimica-1/tabela-resistividade-eletrica-de-alguns-materiais>. Acesso em: 3 set. 2024.

A resistividade varia conforme a estrutura interna dos materiais. Nos condutores, a ligação fraca dos elétrons com o núcleo permite que eles se movam livremente, facilitando a condução elétrica. Nos isolantes, essa ligação é forte, impedindo a circulação de elétrons livres. Os semicondutores, por sua vez, apresentam resistividade intermediária, que pode ser alterada por fatores como a temperatura, tornando-os fundamentais em tecnologias eletrônicas.

Supercondutores

“Série Energia”: Revolução em supercondutores pode beneficiar setores como energia e transporte

Nas últimas semanas vários portais e canais de divulgação científica publicaram reportagens e vídeos a respeito da mais recente notícia sobre supercondutores, o tema deste episódio da Série Energia. O que precisa ficar claro é que esse tipo de material não é novidade, pelo contrário, sua existência e estudos sobre comportamento e aplicações estão registradas desde o início do século 20.

O supercondutor tem como característica apresentar resistência elétrica praticamente nula e, ao longo das últimas décadas, muitas pesquisas e experimentos foram realizados para tentar explicar esse fenômeno, o da supercondutividade. Até hoje, no entanto, os processos físicos envolvidos nessa condição são muito complexos e, na maioria dos casos, as descobertas são alcançadas por experimentos empíricos, ou seja, por tentativa e erro, e depois se cria um modelo que mais ou menos explique o fenômeno da supercondutividade. O fato é que desde Onnes (1911) até julho de 2023, todos os materiais supercondutores alcançados precisavam estar em baixíssimas temperaturas ou altíssimas pressões, o que inviabiliza o uso desses materiais nas funções mais cotidianas ou que tenham maiores impactos para o nosso dia a dia.

Mas o grande alvoroço que gerou as notícias recentes é que uma equipe de pesquisadores da Coreia do Sul publicou artigo, ainda não revisado, afirmando que conseguiram produzir um material supercondutor em condição de pressão e temperatura ambiente, batizado de LK-99. Tal feito, se confirmado, poderia levar a equipe sul-coreana a ganhar o Prêmio Nobel de Física, tamanho o feito extraordinário de se conseguir um supercondutor nessas condições.

Enquanto outros pesquisadores não publicam suas revisões e tentativas de reproduzir o material LK-99, o que podemos fazer é imaginar e especular quais benefícios e grandes melhorias esse material poderia nos trazer, uma vez que apresenta resistência elétrica praticamente nula em condições de temperatura e pressão ambientes. Poderíamos ver uma evolução enorme em termos de eficiência energética em motores elétricos, aparelhos eletrônicos e equipamentos elétricos em geral. Além disso, esse material teria potencial para aumentar em cerca de 100 mil GWh a disponibilidade de energia elétrica na matriz brasileira, uma vez que essa foi a quantidade aproximada de perdas na distribuição e transmissão de energia elétrica no País, ou seja cerca de 15% de todo o consumo de energia elétrica em 2022.

Outra área que poderia ter grandes avanços e melhorias com esse material é o setor de transportes, uma vez que outra característica importante dos materiais supercondutores é a “levitação”, ou seja, esses materiais repelem todos os campos magnéticos quando há passagem de corrente elétrica. Esse comportamento dos supercondutores poderia fazer do LK-99 um material extremamente útil na construção de trens de levitação magnética, os chamados “maglevs”, o que tornaria os custos de operação destes trens, que hoje precisam de muita energia elétrica para levantar, extremamente baixos, tornando-os muito acessíveis e uma solução viável nos mais diversos países.

Enfim, muita coisa boa poderia surgir a partir do momento que se tenha um material supercondutor em pressão e temperatura ambiente, resta saber se o LK-99 é mesmo esse fenômeno ou se essa história não passa apenas de um grande clickbait científico.

A Série Energia tem apresentação do professor Fernando de Lima Caneppele (FZEA), que produziu este episódio com Danilo Pazian Paulo, professor do IFSP e doutorando. A coprodução é de Ferraz Junior e edição da Rádio USP Ribeirão. Você pode sintonizar a Rádio USP Ribeirão Preto em FM 107,9, pela internet em www.jornal.usp.br ou pelo aplicativo no celular para Android e iOS.

FERRAZ JÚNIOR. Pesquisa sul-coreana publicada em revista científica traz, pela primeira vez, os supercondutores para o dia a dia das pessoas. *Jornal da USP*, São Paulo, 24 nov. 2023. Disponível em: <https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-revolucao-em-supercondutores-pode-beneficiar-setores-como-energia-e-transporte/>. Acesso em: 3 set. 2024.

Trocando ideias



1. O texto afirma que, caso confirmada a validade do feito da equipe de pesquisadores da Coreia do Sul, o grupo poderia receber o Prêmio Nobel na área da Física. Com base no que se encontra no texto, discuta o motivo pelo qual o resultado desta pesquisa seria coerente com o recebimento deste prêmio, que releva o maior reconhecimento acadêmico e prestígio de diversas áreas.
2. Pesquise o que são materiais supercondutores e discuta como suas características são capazes de causar alterações nas diversas áreas mencionadas no texto.

Primeira lei de Ohm

Vimos que a tensão, a corrente e a resistência são grandezas físicas que possuem forte relação entre si. Essa relação é descrita pela primeira lei de Ohm. Para compreendê-la, precisamos relembrar que a tensão elétrica e a corrente elétrica são grandezas diretamente proporcionais, pois, quanto maior a tensão elétrica fornecida, maior será a intensidade da corrente. Por outro lado, a resistência e a corrente são inversamente proporcionais, uma vez que, quanto maior for a resistência elétrica de um material, maior será sua capacidade de resistir à passagem de corrente. Unindo essas duas contribuições, chegamos à descrição matemática da primeira lei de Ohm:

$$U = R \cdot i$$

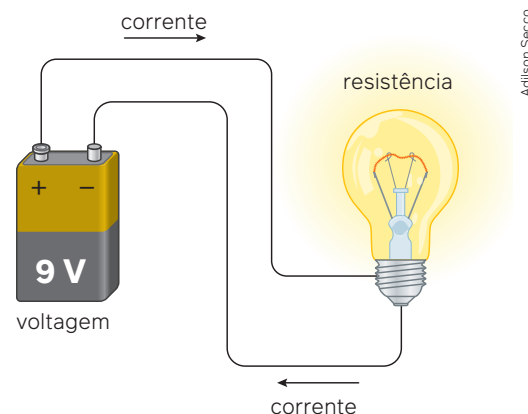
Em um circuito elétrico simples, que é composto, por exemplo, de uma pilha, uma lâmpada e fios conectores, podemos relacionar cada uma das grandezas estudadas com os componentes elétricos.

A pilha é o componente responsável por fornecer a tensão elétrica ao circuito. É ela quem possui a capacidade de fazer com que os elétrons comecem a se movimentar. Caso a pilha seja desconectada do circuito, a lâmpada não se acenderá.

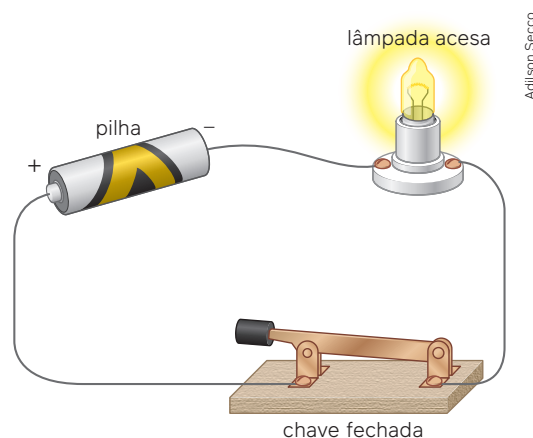
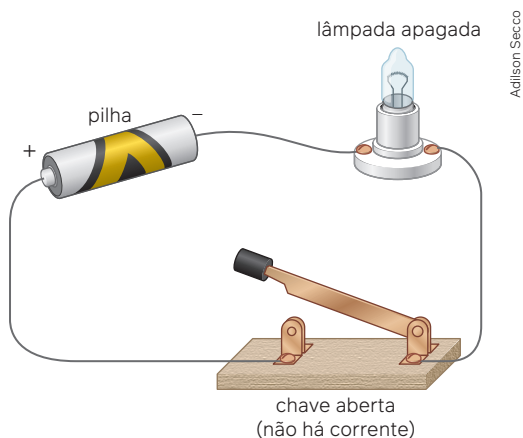
Os fios são os componentes responsáveis por conectar os componentes do circuito elétrico. Idealmente, consideramos que os fios condutores possuem resistência elétrica desprezível.

A lâmpada confere a presença de uma resistência elétrica ligada no circuito. Assim, parte da energia elétrica fornecida pela pilha e transmitida pelo fio é convertida, pela lâmpada, em energia luminosa e térmica, já que a lâmpada se aquece por efeito Joule.

Poderíamos acrescentar ao circuito elétrico ao lado um outro componente: o interruptor. Como o nome já elucida, o interruptor tem a capacidade de interromper a passagem de corrente elétrica no circuito, funcionando como uma chave, que pode estar aberta ou fechada. Quando está aberta, ela interrompe a ligação entre dois pontos do fio condutor, impedindo a passagem de corrente, uma vez que a corrente elétrica apenas flui em circuitos fechados. Quando a chave está fechada, o ponto de contato volta a existir, e a corrente elétrica pode fluir normalmente. É desta maneira que funcionam todos os interruptores que utilizamos em nosso cotidiano. Quando você apaga a luz de um cômodo, o que está fazendo, na verdade, é abrir o circuito elétrico associado ao funcionamento da lâmpada em questão.



Representação de um circuito elétrico simples com indicação das grandezas físicas relacionadas.



Representação do funcionamento de um interruptor.

Como medir a tensão, a corrente e a resistência?

Para medirmos as grandezas que se relacionam pela primeira lei de Ohm, utilizamos instrumentos cujos nomes já especificam a grandeza física a ser medida: amperímetro, para a medição da corrente elétrica; ohmímetro, para a medição da resistência elétrica; voltímetro, para a medição da tensão elétrica ou potenciômetro para a medida da potência envolvida em algum dispositivo.

Há no entanto um aparelho que, convenientemente ajustado, pode realizar todas essas medidas: o multímetro.

Resistores ôhmicos e não ôhmicos

A primeira lei de Ohm é representada matematicamente pela seguinte função afim, isto é, uma função descrita por um polinômio do primeiro grau:

$$f(x) = ax + b$$

Compare a descrição acima com a primeira lei de Ohm:

$$U = R \cdot i$$

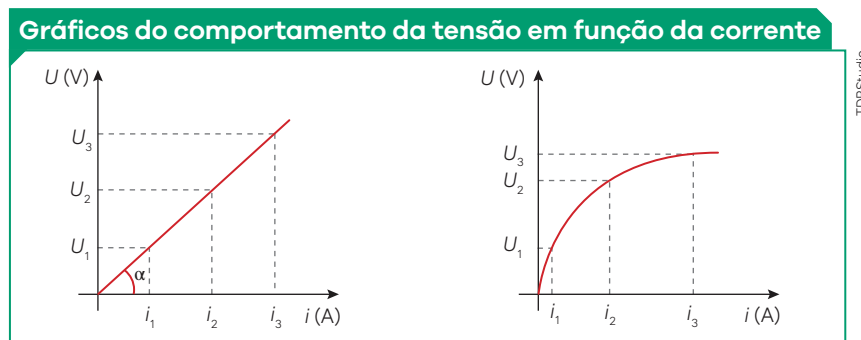
Neste caso, podemos dizer que, matematicamente, as grandezas físicas possuem as seguintes equivalências:

$$f(x) = U \quad a = R \quad x = i \quad b = 0$$

Assim, todas as propriedades matemáticas das funções afins são válidas para a primeira lei de Ohm. Precisamos, agora, interpretar quais são os significados físicos da descrição matemática desta lei.

Uma dessas interpretações físicas é a identificação de um resistor ôhmico e de um resistor não ôhmico. Um resistor é um componente elétrico capaz de fornecer resistência elétrica a um circuito. Os resistores ôhmicos são aqueles que obedecem a primeira lei de Ohm, ou seja, aqueles que possuem resistência elétrica constante. Assim, ao aumentarmos a tensão elétrica fornecida, é possível observar a corrente elétrica aumentando de maneira proporcional. Em contrapartida, os resistores não ôhmicos não apresentam este comportamento de forma linear.

Podemos identificar se um resistor é ôhmico ou não a partir da interpretação de gráficos da corrente elétrica pela tensão elétrica. Compare os gráficos a seguir:



Nessa situação, podemos afirmar que o gráfico da esquerda representa um resistor ôhmico, uma vez que apresenta um comportamento linear. Em contrapartida, o gráfico da direita não pode ser descrito por uma função afim. Desta maneira, não é possível descrever o comportamento deste gráfico a partir da primeira lei de Ohm, portanto, podemos dizer que não se trata de um resistor ôhmico.

Além disso, em posse de um gráfico da tensão elétrica em função da corrente para um resistor ôhmico, podemos determinar o valor da resistência elétrica associada calculando a tangente do ângulo de inclinação do gráfico.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \frac{U_3}{i_3} = R$$

Potência elétrica e a primeira lei de Ohm

Quando entendemos o motivo pelo qual a energia elétrica é transmitida com alta tensão, vemos que a potência elétrica depende diretamente da corrente e da tensão elétrica, e é descrita matematicamente por:

$$P = i \cdot U$$

Veja que podemos associar essa equação da potência elétrica com a primeira lei de Ohm.

Potência elétrica em função da tensão e da resistência:

$$P = i \cdot U \quad \text{e} \quad U = R \cdot i \Rightarrow i = \frac{U}{R}$$

Substituindo a corrente elétrica na equação da potência, temos:

$$P = \frac{U}{R} \cdot U \Rightarrow P = \frac{U^2}{R}$$

Potência elétrica em função da corrente e da resistência:

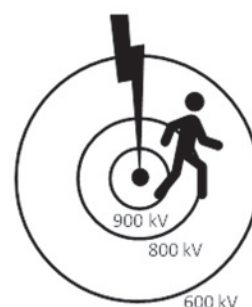
$$P = i \cdot U \quad \text{e} \quad U = R \cdot i$$

Substituindo a corrente elétrica na equação da potência, temos:

$$P = i \cdot R \cdot i \Rightarrow P = R \cdot i^2$$

Atividades comentadas

1. (Unicamp-SP – 2023) Sabemos que correntes elétricas acima de um décimo de Ampère podem provocar paradas cardíacas. Imediatamente após um raio atingir o solo, o potencial elétrico na superfície diminui gradativamente em função da distância ao ponto de impacto, como ilustrado pelas curvas equipotenciais da figura. Sendo a resistência do corpo humano $R = 80 \text{ k}\Omega$, a corrente elétrica que atravessa o corpo da pessoa ilustrada na figura, com os dois pés em contato com o chão, será igual a



UNICAMP, 2023

- a) 0,800 A. c) 10,0 A.
 b) 1,25 A. d) 11,25 A.

Resolução

A partir da imagem, é possível notar que a pessoa está pisando sobre duas superfícies equipotenciais (superfícies que possuem o mesmo potencial elétrico em toda sua extensão). Dessa maneira, para sabermos a diferença de potencial elétrico aplicada na pessoa, devemos fazer a diferença entre os valores:

$$U = 900 - 800 \therefore U = 100 \text{ kV}$$

No enunciado do exercício, foi fornecido o valor da resistência elétrica do corpo humano, portanto, sabendo a tensão e a resistência, podemos determinar o valor da corrente elétrica.

$$U = R \cdot i \Rightarrow 100 = 80 \cdot i$$

$$i = \frac{100 \text{ kV}}{80 \text{ k}\Omega} \Rightarrow i = 1,25 \text{ A}$$

Lembre-se de que $1 \text{ k} = 1\,000$. No caso deste exercício, tanto a tensão como a resistência elétrica possuíam esse mesmo fator multiplicador, o que anulou a contribuição de ambos no final.

2. (Eear-SP – 2023) Um estudante de Física precisa ligar dois equipamentos por meio de um fio condutor de formato cilíndrico. Para isso ele dispõe de 4 opções, **A**, **B**, **C** e **D**, descritas na tabela a seguir.

Dados do condutor	Condutores			
	A	B	C	D
Comprimento	2ℓ	ℓ	ℓ	ℓ
Área da seção transversal	S	$2S$	$0,5 S$	$3S$
Resistividade	ρ	ρ	$0,5 \rho$	$0,5 \rho$

Essa tabela foi elaborada a partir dos valores de referência (ℓ , S e ρ), que são utilizados para comparação:

ℓ – representa um valor do comprimento do condutor;

S – representa um valor da área da seção transversal do condutor; e

ρ – representa uma resistividade elétrica do material que constitui o condutor.

Como o objetivo é conectar o condutor elétrico que apresenta a menor resistência ôhmica, dentre os condutores descritos qual deles deve ser utilizado?

- a) A b) B c) C d) D

Resolução

Para avaliarmos qual condutor possui menor resistência, podemos calcular o valor da resistência elétrica de cada um deles a partir da segunda lei de Ohm e comparar os valores.

$$\text{Condutor A: } R = \frac{\rho \ell}{A} \Rightarrow R = \rho \cdot \frac{2\ell}{S} \therefore R = 2 \rho \frac{\ell}{S}$$

$$\text{Condutor B: } R = \frac{\rho \ell}{A} \Rightarrow R = \rho \cdot \frac{\ell}{2S} \therefore R = \frac{1}{2} \rho \frac{\ell}{S}$$

$$\text{Condutor C: } R = \frac{\rho \ell}{A} \Rightarrow R = 0,5 \rho \cdot \frac{\ell}{0,5 S} \therefore R = \rho \frac{\ell}{S}$$

$$\text{Condutor D: } R = \frac{\rho \ell}{A} \Rightarrow R = 0,5 \rho \cdot \frac{\ell}{3S} \therefore R = \frac{1}{6} \rho \frac{\ell}{S}$$

Assim, concluímos que $R_A > R_C > R_B > R_D$. Portanto, o condutor que deverá ser utilizado é o D.

Geradores e receptores elétricos

Quando pensamos nos circuitos elétricos, consideramos que algum de seus componentes será responsável por fornecer energia elétrica para que os outros a recebam e executem sua função. Chamamos os componentes que fornecem energia de **geradores elétricos**, e aqueles que utilizam a energia elétrica para executar uma outra função de **receptores elétricos**.

Você já deve ter reparado que os aparelhos elétricos, tanto os geradores como os receptores, emitem som ou aquecem. Essa transformação de energia, em geral, não é desejada, pois significa que parte da energia elétrica está sendo dissipada como algum outro tipo de energia que não será aproveitada. Por exemplo, quando ligamos um ventilador, parte da energia elétrica é convertida em energia sonora, não completamente em energia cinética. Isso ocorre porque os geradores e receptores que utilizamos em nosso cotidiano são reais e possuem um rendimento associado que sempre será menor que 100% devido à existência da resistência elétrica desses componentes. Vamos estudar agora como funcionam os geradores e receptores elétricos reais.

Geradores elétricos reais

Podemos dizer que os geradores fornecem determinada potência útil ao circuito elétrico a que estão conectados, que é a diferença entre a potência total gerada por este componente e a potência dissipada devido à resistência interna. Matematicamente, podemos dizer que:

$$P_{\text{útil}} = P_{\text{total}} - P_{\text{dissipada}}$$

Tanto a potência útil (fornecida pelo gerador ao circuito) como a potência total (produzida pelo gerador) podem ser calculadas pela multiplicação da tensão elétrica pela corrente. Por outro lado, como a potência dissipada se refere à quantidade de potência que foi dissipada devido à passagem de corrente elétrica pela resistência interna (r), é mais conveniente utilizar a dependência da potência com essas duas outras grandezas. Assim, podemos reescrever a equação acima da seguinte maneira:

$$i \cdot U_{\text{circuito}} = i \cdot U_{\text{gerador}} - r \cdot i^2$$

A tensão total produzida pelo gerador é também chamada de tensão nominal, ou de **força eletromotriz** (*fem*), e é denotada pela letra grega épsilon (ϵ). Assim:

$$i \cdot U_{\text{circuito}} = i \cdot \epsilon - r \cdot i^2$$

$$U_{\text{circuito}} = \epsilon - r \cdot i$$

A equação acima é chamada de equação dos geradores reais. Note que é possível utilizá-la também para descrever o modelo de um gerador ideal, aquele cuja resistência interna é nula. Se substituirmos na equação acima o valor de $r = 0$, veremos que a tensão fornecida ao circuito fica igual à tensão nominal do gerador.

Note que a equação do gerador também é uma função do primeiro grau. Neste caso, temos que:

$$f(x) = U_{\text{circuito}} \quad a = -r \quad x = i \quad b = \epsilon$$

Graficamente, podemos representar a equação dos geradores como:

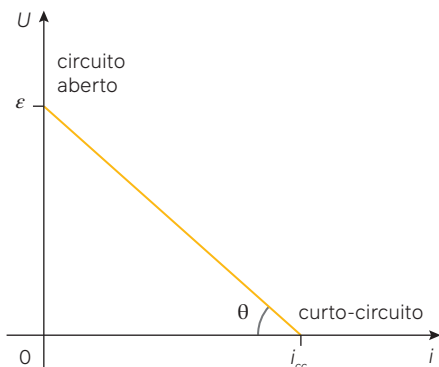
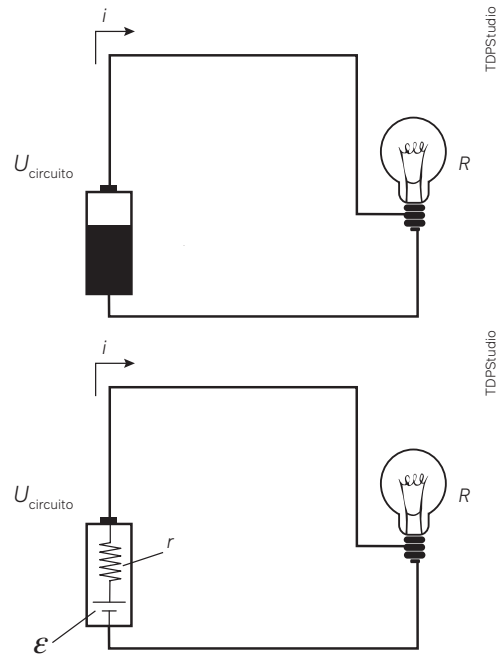


Gráfico da equação do gerador.



Na figura acima, podemos considerar a pilha como um gerador real, observando a resistência interna indicada na segunda imagem.

Se liga

Atente-se para não confundir a resistência interna do gerador com as resistências presentes no circuito. A resistência interna, como o nome induz, é uma resistência do aparelho que gera a energia para o circuito, e é ela quem provoca uma diferença da tensão produzida pelo gerador e a tensão fornecida ao circuito. É possível ter diversas outras resistências presentes no circuito em si, como denotado na imagem acima. Para diferenciar a atuação dessas resistências, é comum denotarmos as resistências internas com a letra minúscula r , e as resistências presentes no circuito com a letra maiúscula R .

Note que a representação gráfica da equação do gerador é uma reta decrescente, uma vez que essa equação possui coeficiente angular negativo. O ponto máximo de tensão observado no circuito (ponto em que a reta corta o eixo das coordenadas) tem que ser igual à força eletromotriz produzida pelo gerador, já que este é o valor máximo de tensão que pode ser gerado. Além disso, esse ponto indica também que a corrente que passa pelo circuito é nula, ou seja, que o circuito está aberto. Em contrapartida, quando o valor da tensão é nulo (ponto em que a reta corta o eixo das abscissas), dizemos que é a corrente de curto-circuito (quando há uma resistência elétrica muito baixa, o que faz com que a corrente atinja uma intensidade máxima).

Receptores elétricos reais

Ao contrário dos geradores, os receptores são os aparelhos que recebem energia elétrica e a utilizam para transformar em algum outro tipo de energia, além da térmica. Podemos citar como exemplo: ventiladores (transformam em energia cinética), televisores (transformam em energia sonora em energia luminosa), aparelhos de som (transformam em energia sonora), entre outros.

Para o caso dos receptores, podemos dizer que parte da potência total (P_{total}) que eles recebem dos receptores é utilizada para executar trabalho ($P_{\text{útil}}$), e a outra parte é a dissipada ($P_{\text{dissipada}}$). Além disso, neste caso, chamamos a tensão dos receptores de **força contraeletromotriz** (ϵ'), e a resistência interna é denotada por r' para diferenciá-la da resistência interna dos geradores. Assim, matematicamente, temos:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{útil}} + P_{\text{dissipada}}$$

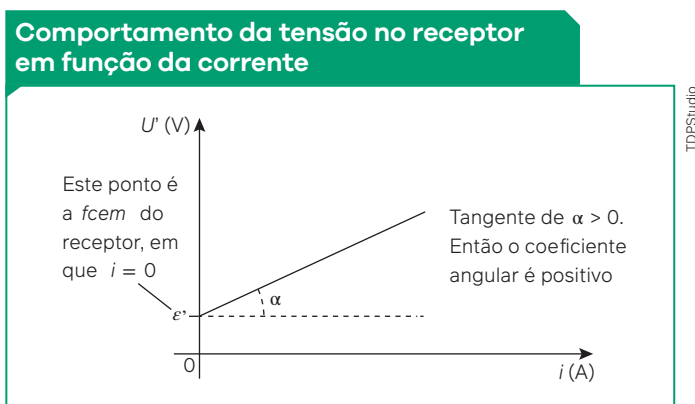
$$i \cdot U_{\text{total}} = i \cdot \epsilon' + r' \cdot i^2$$

$$U_{\text{total}} = \epsilon' + r' \cdot i$$

A equação acima é chamada de equação dos receptores reais. Quando comparamos essa equação com a dos geradores, é possível perceber que, embora as duas sejam equações do primeiro grau, a dos receptores é uma função crescente, enquanto a dos geradores é decrescente. Neste caso, temos:

$$f(x) = U \quad a = r' \quad x = i \quad b = \epsilon'$$

Graficamente, podemos representar a equação dos receptores reais como:



Note que o ponto em que a reta intercepta o eixo das coordenadas é o ponto de tensão quando a corrente é nula. Substituindo na equação, sabemos que, nessa situação, a tensão elétrica é igual à força contraeletromotriz, além disso, o valor da tangente do ângulo alpha é numericamente igual ao valor da resistência interna (r').

Se liga

É importante salientar que os aparelhos que transformam energia elétrica exclusivamente em energia térmica não são chamados de receptores, mas de resistores. Nesse sentido, os chuveiros elétricos, por exemplo, são classificados como resistores.

Nessa situação, utilizando a equação dos geradores reais, a força contraeletromotriz tem valor nulo. Veja que, realizando essa substituição, a equação dos geradores vira a primeira lei de Ohm, portanto, descreve o comportamento de um resistor.

$$U = \epsilon' + r' \cdot i \Rightarrow U = 0 + r' \cdot i \Rightarrow U = r' \cdot i \text{ ou } U = R \cdot i$$

Símbolos de componentes nos circuitos elétricos

Para representarmos os circuitos elétricos, desenhamos os componentes dos circuitos com símbolos padronizados. Isso é relevante para não ser necessário desenhar o componente elétrico. Alguns dos símbolos utilizados estão sistematizados na tabela abaixo.

Nome	Símbolo	Função
Fio condutor		Conduzir a corrente elétrica e conectar diferentes aparelhos.
Resistor		Resistir à passagem de corrente elétrica.
Lâmpada		Converter energia elétrica em energia luminosa. Por vezes, pode ser representada com o mesmo símbolo do resistor.
Interruptor		Interromper a passagem de corrente elétrica.
Gerador		Fornecer energia elétrica para o funcionamento dos componentes do circuito.

Atividades propostas



1. (Uel – 2023) Leia o texto a seguir e responda.

Durante a Segunda Grande Guerra, os alemães utilizavam a Enigma, uma engenhosa máquina eletromecânica para criptografar mensagens de sua força militar, tornando a comunicação indecifrável para o Reino Unido e seus aliados.

Alan Turing (1912–1954) foi um matemático e cientista britânico que atuou diretamente na decodificação da Enigma. Sem sequer desconfiar, o Estado-maior alemão tinha suas comunicações e estratégias militares decifradas, fato que alterou os rumos da Segunda Grande Guerra.

Com seu conhecimento e esforço, estima-se que Turing possa ter encurtado a guerra em dois anos e salvo mais de 14 milhões de vidas. Após a guerra, foi condenado pela Justiça britânica por manter relações homossexuais e foi submetido à castração química para não ser preso. Atribui-se a Turing o título de pai da computação e a formalização dos conceitos de algoritmo.



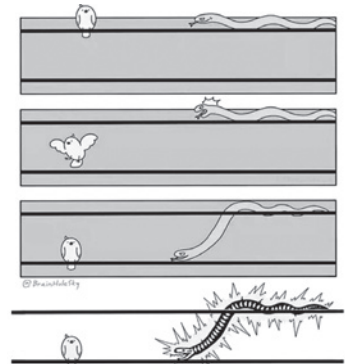
UEL, 2023

Adaptado de: brasilecola.uol.com.br

Suponha que duas lâmpadas usadas na invenção de Turing brilhavam quando algum caractere era decifrado e que elas eram ligadas à mesma diferença de potencial. Os filamentos eram de mesmo material e comprimento, porém com diâmetros diferentes, sendo um o dobro do outro.

Com base no texto e nos conhecimentos sobre eletricidade e magnetismo, assinale a alternativa que apresenta, correta e respectivamente, a razão entre as potências da lâmpada de maior brilho pela lâmpada de menor brilho.

- a) 0,25 c) 1,00 e) 4,00
 b) 0,50 d) 2,00
2. (Fatec-SP – 2023) Leia os quadrinhos. Podemos afirmar corretamente que,
- no primeiro quadrinho, a cobra é eletrocutada porque o seu “serpentear” age como uma resistência elétrica, impossibilitando a passagem de corrente elétrica por seu corpo.
 - no segundo quadrinho, o passarinho não é eletrocutado por não estar tocando o fio de baixo, no qual a corrente elétrica passa.
 - no terceiro quadrinho, o passarinho não é eletrocutado, pois a cobra impede a passagem de corrente elétrica.
 - no quarto quadrinho, a cobra é eletrocutada, pois há passagem de corrente elétrica ao se conectar a dois potenciais elétricos diferentes.
 - nos quadrinhos, a cobra e o passarinho são eletrocutados por passarem de um fio a outro.



FATEC, 2023

Fonte: <https://tinyurl.com/vzz73asp>. Acesso em: 24.11.2022. Original colorido.

Tipos de ligação em circuitos

Estudamos as diferentes características dos componentes elétricos que compõem os circuitos. Agora, vamos estudar as diferentes maneiras de associar mais de um mesmo componente nos circuitos.

Associação em série

Na época de Natal, é comum observarmos que alguns pisca-piscas param de funcionar e que quase nunca temos apenas uma ou outra lâmpada que queima. Em geral, é uma fileira inteira, ou, às vezes, todo o pisca-pisca que para de acender. Isso acontece por conta do tipo de associação que é utilizada para conectar todas as lâmpadas: as **associações em série**.

Nesse tipo de associação, a corrente elétrica possui um caminho único para fluir, o que confere uma desvantagem para os componentes que estão ligados no circuito, pois, se um componente parar de funcionar, ele comprometerá o funcionamento dos outros componentes associados em série a ele.

Como a corrente tem um único caminho para percorrer neste tipo de ligação, a corrente que passa por todos os componentes tem o mesmo valor, mas a tensão sobre cada um deles é diferente, de tal forma que a tensão total é a soma das tensões dos componentes:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$(R \cdot i) = (R \cdot i)_1 + (R \cdot i)_2 + \dots + (R \cdot i)_n$$

Como a corrente elétrica que passa pelos componentes é igual, podemos dizer que:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

A equação acima descreve a forma de calcular a resistência equivalente de um circuito quando temos resistores associados em série. Realizamos esse tipo de cálculo quando desejamos pensar na atuação conjunta de diferentes resistores.

Associação em paralelo

Ao contrário da associação em série, as **associações em paralelo** permitem múltiplos caminhos para a passagem de corrente elétrica. Esse tipo de ligação é utilizado quando queremos tornar os componentes do circuito independentes, de tal forma que, se um dos componentes estragar, o outro não terá seu comportamento afetado. Assim como no caso das associações em série, é possível calcular a resistência equivalente de resistores associados em paralelo. Para tanto, consideramos que a corrente total é a soma das correntes que passa por cada componente, e que a tensão elétrica aplicada sobre cada um deles é a mesma. Assim, temos:

$$i = i_1 + i_2 + \dots + i_n$$

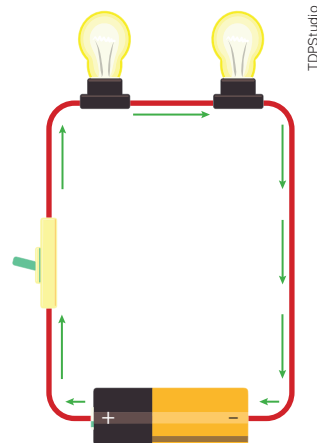
$$\left(\frac{U}{R}\right) = \left(\frac{U}{R_1}\right) + \left(\frac{U}{R_2}\right) + \dots + \left(\frac{U}{R_n}\right)$$

Como a tensão aplicada nos componentes é igual, podemos dizer que:

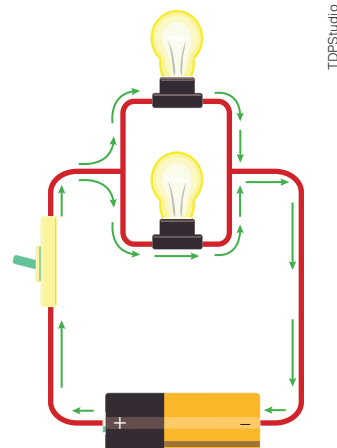
$$\left(\frac{1}{R_{eq}}\right) = \left(\frac{1}{R_1}\right) + \left(\frac{1}{R_2}\right) + \dots + \left(\frac{1}{R_n}\right)$$

A equação acima descreve a forma de calcular a resistência equivalente de um circuito quando temos componentes associados em paralelo.

Apesar de as associações em paralelo terem a vantagem de permitir a independência dos aparelhos, promovem um maior consumo de energia por ter correntes com valores maiores passando pelo circuito.



Associação de uma pilha (bateria) em série com duas lâmpadas (resistores).



Associação de uma pilha (bateria) em paralelo com duas lâmpadas (resistores).

TDPStudio

TDPStudio

Associação mista

Talvez, em sua sala de aula, exista a seguinte configuração de lâmpadas:

Caso sua sala de aula seja assim, já deve ter ocorrido de desligarem apenas as lâmpadas da frente ou apenas as lâmpadas do fundo da sala. Isso é possível porque cada conjunto de lâmpadas está associada em paralelo com as outras, e os interruptores estão ligados com o funcionamento de apenas uma das fileiras. Apesar disso, note também que as três lâmpadas da horizontal funcionam de maneira dependente das outras da mesma fileira. Por exemplo, não há um interruptor que ligue apenas a lâmpada central, ou seja, apesar de cada fileira horizontal ser ligada em paralelo com as outras, as lâmpadas que compõem cada fileira são ligadas em série entre si. Veja que, neste circuito, utilizamos os dois tipos de associação. Quando isso ocorre, chamamos a ligação de **associação mista**.

No caso das associações mistas, não é possível encontrar uma equação única para calcular todos os tipos de circuito, portanto, precisamos analisar cada circuito para calcular a resistência equivalente. Apesar disso, de modo geral, podemos “quebrar” o problema maior em pequenos problemas, identificando quais componentes estão em série e quais estão em paralelo e calcular a resistência equivalente levando isso em consideração.



Imagem de uma sala de aula com luminárias lineares.

Ciência por dentro

Investigando as ligações nos circuitos elétricos

Nesta seção, vamos investigar experimentalmente algumas propriedades de dois tipos de associações de componentes elétricos nos circuitos: as associações em série e as associações em paralelo.

Material:

- duas pilhas de 1,5 V;
- duas lâmpadas 1,5 V;
- dois soquetes para as lâmpadas;
- fios condutores para conectar os componentes;
- um multímetro.

Atenção!

Cuidado com os fios que podem se aquecer na passagem da corrente.

2. Ligue mais uma lâmpada em série neste circuito. O que ocorre com o brilho das lâmpadas em comparação com o brilho anterior quando apenas uma era conectada?
3. Agora, associe outra pilha em série no circuito. O que ocorre com o brilho das lâmpadas?
4. Agora, associe duas lâmpadas em paralelo com uma pilha. Como é o brilho das lâmpadas quando comparado com as associações anteriores?

Procedimentos

1. Associe uma lâmpada em série com uma pilha. Nessa situação, qual é o valor da tensão elétrica fornecida para a lâmpada?

Trocando ideias

- Converse com outros estudantes sobre o experimento realizado e verifiquem se o que foi observado é condizente com o que era esperado pela teoria estudada.

Recapitule

Neste capítulo, estudamos como a energia elétrica é transmitida nos diferentes circuitos elétricos. Vimos quais são as propriedades gerais desses componentes, quais são as equações e grandezas relacionadas, e também como a tensão, a corrente e a resistência elétrica estão relacionadas a partir da primeira lei de Ohm. Além disso, estudamos como as propriedades dos fios condutores afetam a resistência oferecida por eles, grandezas que são relacionadas a partir do conceito de resistividade, introduzido pela segunda lei de Ohm. Posteriormente, estudamos os geradores e os receptores reais e quais são as funções que executam nos circuitos elétricos. Por fim, estudamos os diferentes tipos de associações de resistores e quais são suas vantagens e desvantagens.

Propriedades magnéticas



Exemplos de aplicações do magnetismo. Exemplos de aplicações do magnetismo: bússola (A), cartão com tarja magnética (B), orientação de aves em migração (C) e disco rígido de computadores para armazenamento de dados (D).

Para refletir

1. As bússolas tiveram um papel fundamental no desenvolvimento das navegações. O que esses equipamentos indicam? Como eles se orientam?
2. Você sabe como as informações são gravadas nos *Hard Disks* (HDs)? Já ouviu falar que não podemos deixar cartões de banco ou de ônibus atrás do celular porque eles “perdem o magnetismo”?
3. Qual é a relação entre o movimento migratório das aves e o magnetismo?

Objetivos do capítulo

- Compreender que os ímãs são compostos por polos magnéticos.
- Relacionar a impossibilidade do monopolo magnético com a compreensão sobre os domínios magnéticos e a estrutura interna da matéria.
- Assimilar o conceito de campo magnético e de linhas de campo.
- Utilizar o comportamento das linhas de campo magnético para explicar os fenômenos de atração e de repulsão magnética.
- Conhecer os processos de imantação e desmagnetização.
- Explicar fenômenos naturais e artificiais que envolvam o magnetismo.

Magnetismo

Talvez você se lembre de brincar com ímãs durante a infância. Em geral, as crianças costumam ficar fascinadas com a “dança” que os ímãs fazem quando se repelem e se impressionam quando eles são rapidamente atraídos. A observação de fenômenos magnéticos intrigou a humanidade por um longo tempo, e a busca pelas explicações destes fenômenos permitiu o desenvolvimento de diversas aplicações fundamentais para o cotidiano. Neste capítulo, iniciaremos os estudos sobre fenômenos magnéticos e criaremos as bases para compreender como o magnetismo e a eletricidade estão unificados.

A origem do termo magnetismo nos leva à Grécia antiga. Acredita-se que as primeiras observações de fenômenos magnéticos tenham ocorrido nesta época através da magnetita, um mineral com propriedades magnéticas.

A primeira aplicação essencial do magnetismo foi desenvolvida pelos chineses, povo ao qual é atribuída a invenção da bússola, instrumento capaz de se orientar com uma grandeza chamada de **campo magnético**. Assim, ela é capaz de fornecer subsídios para a orientação espacial, aspecto fundamental para as navegações.

Hoje, o magnetismo é muito utilizado nos processos de armazenamento e transmissão de informações digitais. Neste capítulo, estudaremos as bases do magnetismo e buscaremos explicar alguns fenômenos magnéticos.



Geza Farkas/Shutterstock.com

A magnetita é um minério com forte propriedades magnéticas.

Ímãs e polos magnéticos

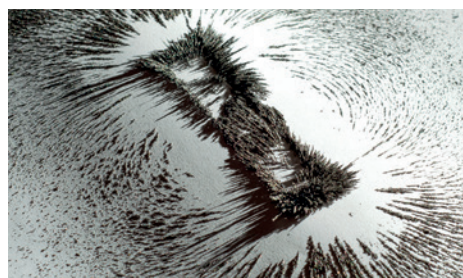
Vamos dividir nossos estudos sobre o magnetismo a partir de dois pontos de vista: o nível macroscópico e o nível microscópico. Neste capítulo, vamos analisar fenômenos magnéticos e algumas de suas propriedades importantes, além disso, iniciaremos um olhar microscópico do magnetismo. No próximo capítulo, nos aprofundaremos nas relações entre a eletricidade e o magnetismo, compreendendo as influências do mundo microscópico de forma mais aprofundada.

Os ímãs são objetos que possuem a capacidade de atrair e repelir outros materiais, magnéticos ou não magnéticos. Eles podem ser encontrados na natureza, como no caso da magnetita, mas é possível fazer com que alguns materiais adquiram propriedades magnéticas por meio de processos de imantação. Os ímãs, naturais ou artificiais, sempre são constituídos pelo que chamamos de **dipolo magnético**, ou seja, todos os ímãs possuem dois polos: norte e sul. Denominamos essas regiões de **polos**, pois são os locais de um ímã em que a atividade magnética se apresenta de forma mais intensa. No centro geométrico de um ímã, a intensidade magnética é menor, mas aumenta conforme nos afastamos dele.

Diferentemente das cargas elétricas, que podem ser encontradas de maneira separadas (somente positivas ou somente negativas), não é possível ter apenas um polo magnético (somente norte ou somente sul), ou seja, o **monopolo magnético** não é possível. Se você já teve a experiência de deixar algum ímã quebrar, deve ter percebido isso ocorrendo na prática. Quando um ímã é quebrado, o material continua com os dois polos magnéticos, mesmo que a quebra ocorra diversas vezes.

Mas por que isso ocorre? Por que podemos garantir que um ímã sempre terá os dois polos magnéticos?

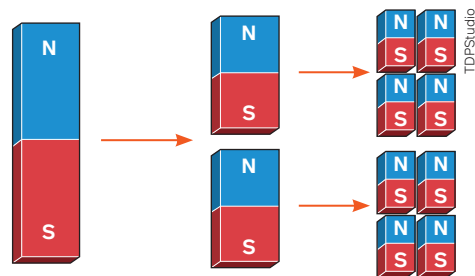
Isso está relacionado com a estrutura interna da matéria e com como ela confere propriedades magnéticas a alguns materiais. Microscopicamente, existem algumas regiões com certa organização magnética, que chamamos de **domínios magnéticos**. Sabemos que a matéria é composta por diversos átomos, que são compostos por um núcleo e uma eletrosfera. Os elétrons presentes nas eletrosferas dos átomos estão em constante movimento, e a movimentação dessas cargas elétricas conferem a cada pequeno elétron uma propriedade magnética. Se pensarmos dessa forma, podemos nos questionar: ora, se toda matéria tem elétrons em sua constituição e todos os elétrons possuem essa propriedade magnética, por que nem todos os materiais são magnéticos? A resposta dessa pergunta também está no conceito de domínios magnéticos.



Memo van der Haven/Shutterstock.com

Limalhas de ferro sendo atraídas por um ímã.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



TDPStudio

Representação da manutenção do dipolo magnético quando um ímã se parte.



Investigando propriedades magnéticas

O objetivo desta atividade é observar e investigar algumas propriedades magnéticas dos ímãs e levantar hipóteses explicativas para os fenômenos de atração e repulsão magnéticas.

Material:

- ímãs de ferrite retangulares;
- cliques;
- limalhas de ferro;
- bússola;
- superfície para colocar os ímãs e as limalhas de ferro.

Procedimento

Objetivo 1: Utilizando os materiais listados, devemos determinar os polos dos ímãs.

Objetivo 2: Levantar hipóteses explicativas sobre o motivo pelo qual os ímãs se atraem e se repelem.

Trocando ideias

1. A partir dos materiais listados, é possível determinar a polaridade de ímãs de duas maneiras. Que formas são essas? Discuta com seus colegas quais

procedimentos podem ser adotados para realizar essa identificação dos polos.

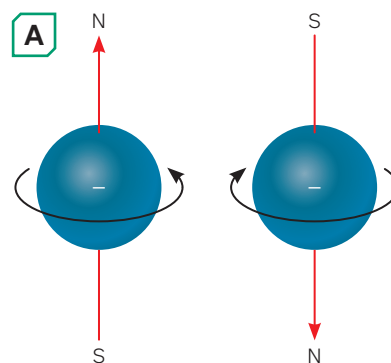
2. Coloque as limalhas de ferro na superfície de tal forma que elas fiquem restritas a esse espaço, mas espalhadas. Insira um ímã no meio dessas limalhas. O que acontece? Levante hipóteses explicativas para o fenômeno observado.
3. Agora, insira dois ímãs com polaridades iguais na superfície com as limalhas. O que acontece com elas? Como isso pode auxiliar a explicação da repulsão observada?
4. Aproxime as bússolas das limalhas e faça um desenho representativo de como elas ficaram orientadas e como a bússola se comporta em cada um dos pontos.
5. Insira dois ímãs com polaridades opostas na superfície com as limalhas. O que acontece com elas? Como isso pode auxiliar a explicação da atração observada?
6. Aproxime as bússolas das limalhas e faça um desenho representativo de como elas ficaram orientadas e como a bússola se comporta em cada um dos pontos. Qual conceito físico pode ser explicado com esse desenho?

Saiba mais

Como funcionam os domínios magnéticos

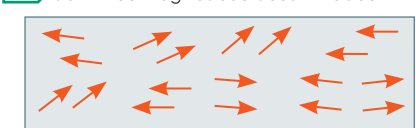
Podemos pensar em um modelo científico para descrever os domínios magnéticos. Vamos considerar que cada elétron possa ser representado por uma pequena esfera e que a propriedade magnética que eles possuem seja representada por uma seta, de tal forma que a ponta da seta é o polo norte e a outra extremidade é o sul. Nessa representação, cada elétron pode ser imaginado conforme a imagem (A).

Os domínios magnéticos são regiões da matéria onde as orientações das setas possuem os mesmos sentidos, conferindo ao material uma propriedade magnética mensurável a nível macroscópico. Ao contrário, nos materiais cuja organização dos domínios magnéticos se dá de maneira aleatória, não observamos propriedades magnéticas macroscopicamente. Utilizando o modelo esquemático de cada elétron, poderíamos representar a orientação dos domínios magnéticos dos materiais, como nas imagens (B) e (C).



Representação microscópica da propriedade magnética causada pela movimentação do elétron.

B domínios magnéticos desalinhados



Ericson Guilherme

C domínios magnéticos ordenados



Ericson Guilherme

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



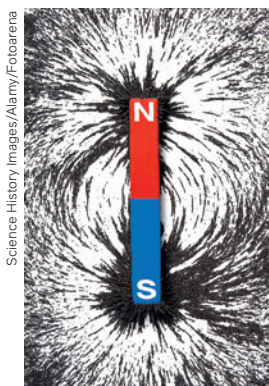
Domínios magnéticos.

Campo magnético

Sabemos que a Terra possui polos magnéticos a partir dos quais, por exemplo, as bússolas se orientam, na ausência de outro material com propriedade magnética mais intensa. Considerando isso, pense na seguinte situação hipotética: se a Terra deixasse de ter seus polos magnéticos, quanto tempo demoraria até que as bússolas deixassem de “perceber” esse magnetismo?

Essa pergunta tem como base um dos questionamentos propostos pelo cientista Michael Faraday (1791-1867) sobre as interações à distância. Antes de Faraday, as ideias que vigoravam no meio acadêmico eram pautadas nos trabalhos de Isaac Newton (1643-1727), que entendia que as ações de forças de corpos a uma certa distância eram instantâneas. Por exemplo, na concepção newtoniana, se o Sol deixasse de existir, a Terra “sentiria” essa ausência gravitacional de maneira instantânea.

Faraday, ao contrário, acreditava que havia algum mediador dessas forças, que intermediava as ações que ocorriam entre diferentes corpos no espaço. Para defender esta posição, um de seus trabalhos tinha relação com o magnetismo. Ele mostrou que, ao jogar algumas limalhas de ferro perto de um material magnético, seria possível observar a orientação do ferro em linhas muito específicas ao redor do ímã, tal como na imagem abaixo.



Limalhas de ferro se orientando a partir da presença de um ímã.

A essas linhas, Faraday deu o nome de **linhas de força**, pois defendia que elas identificavam como as forças de interação entre dois corpos distantes eram transmitidas no espaço. Hoje, não mais chamamos essas linhas de linhas de força, mas sim de **linhas de campo**. Na Física Clássica, utilizamos o conceito de campo em três grandes áreas: gravitação, eletricidade e magnetismo. Agora, estudaremos o que é o campo magnético e como ele se apresenta a partir das linhas de campo.

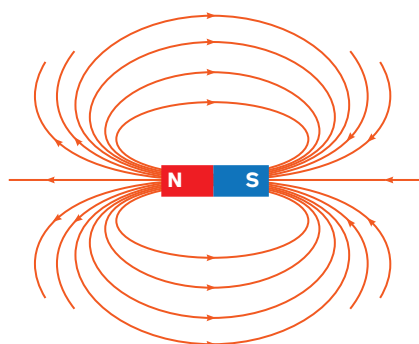
Podemos definir o campo magnético como uma perturbação não material causada no espaço devido à presença de um corpo magnetizado. Note que, para que o campo exista, é necessário haver apenas um corpo magnetizado. Isso é diferente para as forças: para que elas existam, é necessário que haja pelo menos dois corpos com propriedades magnéticas. Em geral, o campo magnético é denotado pela letra B , e sua unidade de medida no Sistema Internacional é tesla (T), em homenagem a Nikola Tesla (1856-1943).

Os campos magnéticos podem ser compreendidos a partir das linhas de campo, que indicam como essa propriedade adquirida pelo espaço se manifestará ao redor de um corpo magnetizado. As linhas de campo são representadas vetorialmente, conforme indicado na imagem no final da página. Observe como essa representação das linhas de campo corresponde à orientação das limalhas de ferro apresentadas na imagem anterior, de forma que as linhas de campo saem do polo norte do ímã e entram no polo sul.

Pode-se dizer que, quanto maior a concentração de linhas de campo em uma região do espaço, maior será a intensidade deste campo magnético. Uma outra propriedade do campo é a diminuição da sua intensidade com a distância do material que se comporta como fonte do magnetismo.

As linhas de campo podem ser utilizadas para compreender por que, em alguns momentos, percebemos que os ímãs se atraem e por que, em outros, eles se repelem. Definimos que, ao aproximarmos polos opostos de dois ímãs, observaremos uma atração entre eles; em contrapartida, aproximando polos iguais, acontece a repulsão. Vejamos, nas imagens abaixo, como ficam as linhas de campo nessas situações.

Note que, no caso da atração, as linhas de campo revelam uma tendência de aproximação entre os objetos. O contrário ocorre com a repulsão, em que as linhas de campo indicam distanciamento. Inclusive, caso você já tenha aproximado os polos iguais de dois ímãs, já deve ter reparado como parece que os ímãs tentam se deslocar realizando um movimento semelhante a esses indicados pelas linhas de campo.

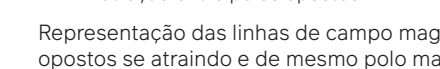


Representação vetorial das linhas de campo magnético.

campo magnético de um ímã em barra

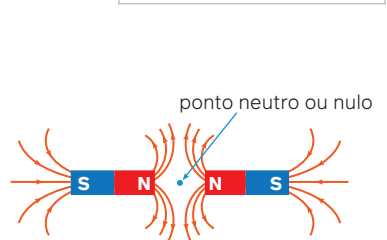


atração entre polos opostos



Representação das linhas de campo magnético em objetos de polos magnéticos opostos se atraindo e de mesmo polo magnético se repelindo.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



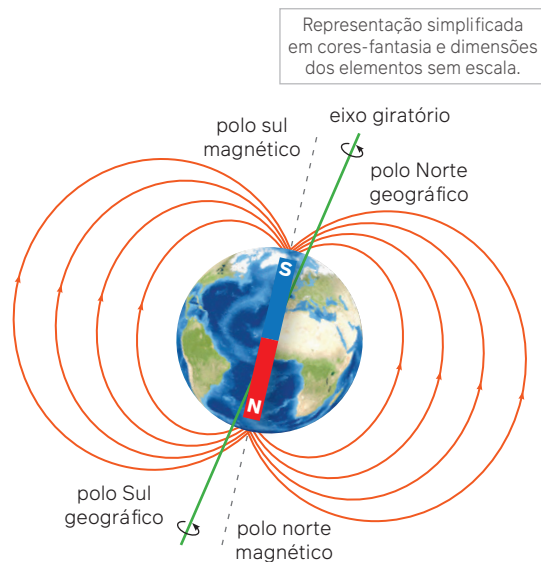
repulsão entre polos iguais

As bússolas e os campos magnéticos

As bússolas são instrumentos que se orientam a partir das linhas de campo magnético da Terra. Esses instrumentos, muito utilizados na navegação e para a localização espacial de forma geral, permitem que as pessoas se orientem, pois elas sempre apontam para o polo Norte geográfico do planeta.

Neste momento, precisamos diferenciar o que são os polos geográficos e os polos magnéticos. Podemos dizer que a Terra possui um polo Norte e um polo Sul geográficos e um polo norte e um polo sul magnéticos. Embora estejam relacionados, eles não são a mesma coisa.

Vimos que polos magnéticos opostos se atraem e os polos iguais se repelem. Se a bússola sempre aponta para o Norte geográfico, podemos concluir que lá se localiza o polo sul magnético e vice-versa: no polo Sul geográfico, se localiza o polo norte magnético. Na realidade, eles não se encontram precisamente na mesma região do espaço, pois os polos magnéticos são um pouco inclinados em relação aos polos geográficos. Por possuir esses polos magnéticos, o planeta Terra também gera linhas de campo magnético ao seu redor.



Polos geográficos e magnéticos da Terra.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Adilson Secco

Atividades comentadas

1. Considere a seguinte atividade experimental: um estudante, em posse de três barras (**A**, **B** e **C**), decidiu verificar qual delas estava magnetizada. Ao aproximar um dos lados da barra **B** da barra **A**, observou que ocorria atração. A mesma situação aconteceu quando aproximou o outro lado da barra **B** no mesmo lado da barra **A**. Quando aproximou a barra **A** da barra **C**, notou que houve uma repulsão entre elas. Nessa situação, quais barras estão magnetizadas? Justifique.

Resolução

Como um lado da barra **B** sofreu atração, se aproximando de ambos os lados da barra **A**, ela não pode estar magnetizada, pois, se estivesse, haveria repulsão em um dos casos. Por outro lado, ao aproximar a barra **A** da barra **C**, observou-se uma repulsão, o que só pode ocorrer se ambas as barras estiverem magnetizadas.

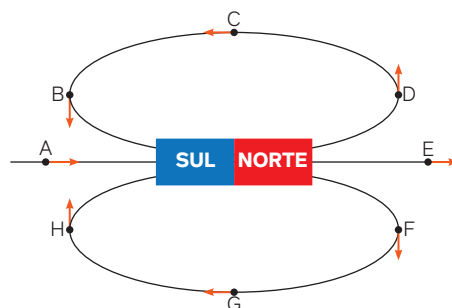
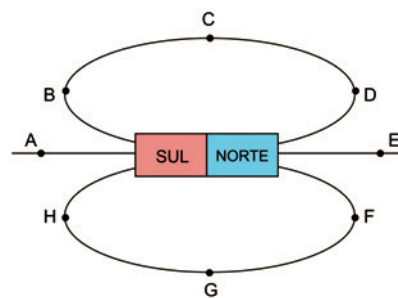
2. (UEFS-BA – 2018) A figura representa um ímã em forma de barra, seus dois polos magnéticos Norte e Sul e algumas linhas de indução, contidas no plano da figura, do campo magnético criado pelo ímã. Sobre essas linhas estão assinalados os pontos de **A** até **H**. Desprezando a ação de quaisquer outros campos magnéticos, o vetor campo magnético criado por esse ímã tem a mesma direção e o mesmo sentido em

- a) B e H.
- b) B e D.
- c) E e G.
- d) A e C.
- e) D e H.

Resolução

Alternativa **e**. Ao representarmos os vetores das linhas de campo magnético em cada um dos pontos, teremos a situação representada ao lado.

Assim, podemos dizer que os vetores que possuem a mesma direção e sentido são representados aos pares pelas letras A e E, D e H, F e B, C e G. Assim, a única alternativa possível é a **e** (D e H).



UEFS, 2018

Adilson Secco



1. (IFSP – 2012) Os ímãs têm larga aplicação em nosso cotidiano tanto com finalidades práticas, como em alto-falantes e microfones, ou como meramente decorativas. A figura mostra dois ímãs, A e B, em forma de barra, com seus respectivos polos magnéticos.



Analise as seguintes afirmações sobre ímãs e suas propriedades magnéticas.

- I. Se quebrarmos os dois ímãs ao meio, obteremos quatro pedaços de material sem propriedades magnéticas, pois teremos separados os polos norte e sul um do outro.
- II. A e B podem tanto atrair-se como repelir-se, dependendo da posição em que os colocamos, um em relação ao outro.
- III. Se aproximarmos de um dos dois ímãs uma pequena esfera de ferro, ela será atraída por um dos polos desse ímã, mas será repelida pelo outro.

É correto o que se afirma em

- a) I, apenas.
 - b) II, apenas.
 - c) I e II, apenas.
 - d) I e III, apenas.
 - e) II e III, apenas.
2. (CPS-SP – 2017) Ímãs podem ser utilizados em muitas brincadeiras. Não é à toa que há uma série de brinquedos em que figuras planas ou tridimensionais podem ser montadas utilizando-se ímãs. Um desses brinquedos consiste em uma grande quantidade de ímãs em formato de bastão. A figura 1 mostra o perfil de um desses ímãs sendo que a parte escurificada corresponde ao polo Norte, enquanto a parte em branco corresponde ao polo Sul.



figura 1

CPS, 2017

Carlos vai dispor alguns ímãs de acordo com a figura 2, de modo que eles fiquem unidos apenas pela ação da força magnética, sem a ação de atritos ou outras forças.



CPS, 2017

figura 2

Assinale a alternativa que apresenta corretamente uma possibilidade de arranjo dos ímãs para que Carlos consiga montar a disposição apresentada na figura 2.



CPS, 2017



CPS, 2017



CPS, 2017



CPS, 2017



CPS, 2017

Processos de imantação

Embora seja possível encontrar materiais magnetizados naturalmente, uma boa parte dos ímãs que utilizamos no cotidiano possuem propriedades magnéticas que foram constituídas de forma artificial a partir de três processos de **imantação**: (i) por indução magnética; (ii) por atrito; (iii) a partir da passagem de corrente elétrica. Neste capítulo, estudaremos os dois primeiros processos citados, e, no próximo, nos aprofundaremos sobre como ocorre o terceiro tipo de imantação.

Indução magnética

A imantação por indução, ou indução magnética, é caracterizada pela capacidade magnética adquirida por alguns materiais quando ficam próximos de outros corpos magnetizados. A indução magnética pode ser de três tipos distintos.

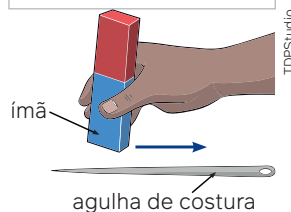
- **Indução diamagnética:** nesse caso, os domínios magnéticos do material induzido adquirem sentido oposto ao do ímã indutor.
- **Indução paramagnética:** nesse caso, os domínios magnéticos do material induzido adquirem o mesmo sentido do ímã indutor.
- **Indução ferromagnética:** esse tipo de indução é semelhante à paramagnética, pois o material induzido seguirá o mesmo sentido do indutor. Apesar disso, nos materiais ferromagnéticos, o campo magnético induzido possui uma intensidade muito mais alta do que nos paramagnéticos.

Imantação por atrito

Uma outra maneira de permitir que alguns materiais fiquem magnetizados é através do atrito. Ao atritarmos um ímã permanente a um outro material, podemos fazer com que os domínios magnéticos deste material não imantado se orientem em um único sentido, induzindo a capacidade magnética. Para tanto, é necessário que a fricção seja feita sempre em um mesmo sentido.

A partir deste processo, é possível construir uma bússola caseira. Após imantar uma agulha de costura por atrito, é possível colocá-la sobre uma tampa de refrigerante em um recipiente com água. Com isso, a agulha poderá se mover livremente e, por estar imantada, ela se orientará a partir das linhas do campo magnético da Terra.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

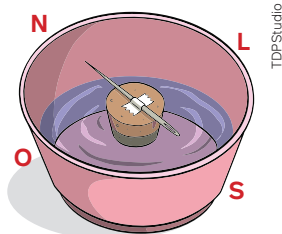


Representação da imantação por atrito.

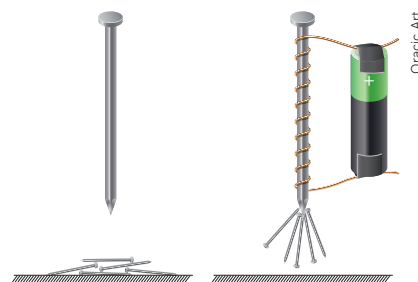
Imantação por passagem de corrente elétrica

É possível produzir organização dos domínios magnéticos, ou seja, imantar um objeto, especialmente os objetos ferrosos, produzindo uma passagem de corrente elétrica de maneira organizada a seu redor. Isso acontece por um processo denominado de indução eletromagnética, que descreve a geração de um campo magnético ao redor de um material condutor por onde passa corrente elétrica. É isso que permite a formação de um eletroímã, por exemplo.

Um prego, quando aproximado de outros pregos de menor tamanho, não produz atração magnética porque não está imantado, no entanto, se envolvermos esse prego com muitas voltas de um fio condutor elétrico e o conectarmos a uma pilha, a corrente elétrica que percorre os elos do fio fará com que o prego fique imantado e produzirá, com isso, uma atração magnética aos pregos menores. Damos várias voltas do fio condutor no prego com o objetivo de ampliar a magnitude do campo magnético gerado com a passagem da corrente elétrica, é esse tipo de imantação temporária que permite a construção de grandes guindastes magnéticos, capazes de erguer automóveis por atração magnética provocada por uma corrente elétrica e, depois, devolver o automóvel ao solo e parar de atraí-lo pela interrupção da corrente elétrica.



Representação de uma bússola caseira.



Imantação de objeto metálico através da passagem de corrente elétrica

Desmagnetização

Vimos que diferentes materiais podem adquirir propriedades magnéticas, mas também é possível fazer com que os materiais tenham seu magnetismo reduzido ou até mesmo anulado. A esse processo damos o nome de **desmagnetização**, que pode ocorrer por três formas principais.

- **Desmagnetização por ação mecânica:** em alguns casos, a submissão de ímãs a pancadas provoca a alteração do alinhamento dos domínios magnéticos, fazendo com que suas propriedades magnéticas se percam. Isso pode ser observado quando ímãs sofrem quedas com frequência, por exemplo.
- **Desmagnetização por aumento da temperatura:** quando falamos sobre os domínios magnéticos, vemos que a estrutura microscópica e a organização dos átomos é algo relevante. Nesse sentido, a temperatura é uma variável importante que pode alterar a organização interna, podendo desordenar a estrutura magnetizada, fazendo com que o material perca suas propriedades magnéticas. A relação entre o magnetismo de um material e sua temperatura foi estudada por, entre outras pessoas, Pierre Curie (1859-1906). Hoje, damos o nome de **temperatura de Curie**, ou ponto de Curie, para a temperatura em que observamos que os diferentes materiais perdem suas propriedades magnéticas.
- **Desordenação magnética:** uma outra forma de fazer com que um material seja desmagnetizado é através do próprio contato deste material com outros ímãs. Eventualmente, a organização externa de um ímã pode alterar os domínios magnéticos de outros que estejam próximos, ocasionando a desmagnetização.

Algumas aplicações do magnetismo

Aplicações do magnetismo podem ser identificadas em diversos setores e possuem relevância tanto para fenômenos naturais quanto para novas tecnologias que são utilizadas com frequência.

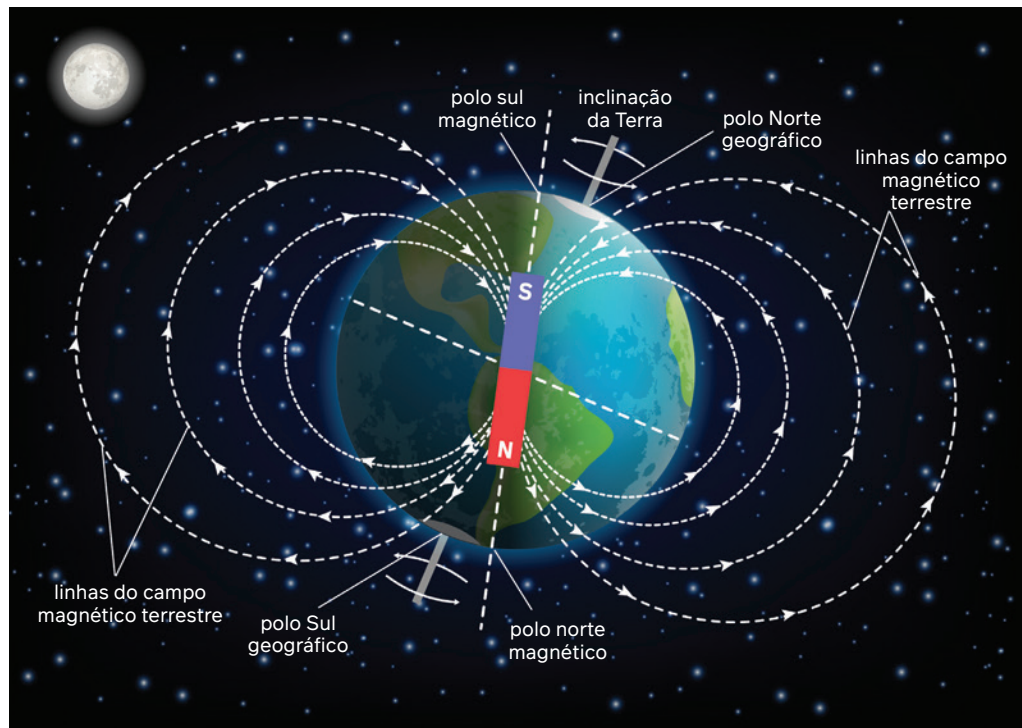
Fenômenos naturais que envolvem o magnetismo

Vimos que os primeiros registros da humanidade percebendo a existência do magnetismo remontam às magnetitas e às observações de como esses minérios se atraem, no entanto, além dessas rochas naturais magnéticas, a Terra possui um campo magnético, que funciona como um escudo de partículas carregadas provenientes do Sol. A partir desse escudo, alguns animais evoluíram de tal maneira que conseguem se referenciar espacialmente pelas linhas de campo magnético.

Campo magnético da Terra e a magnetorrecepção

As bússolas são capazes de se orientar pelas linhas de campo da Terra. O planeta possui um campo magnético que é gerado devido à movimentação de cargas elétricas em seu interior, ocasionadas pela convecção do magma. Esses movimentos fazem com que a Terra tenha linhas de campo ao seu redor e que possa ser aproximada como um grande ímã, conforme a imagem abaixo.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Siberian Art/SHUTTERSTOCK.COM

► Ciências da Natureza

O estudo sobre mecanismos adaptativos dos seres vivos pode ser aprofundado no **Capítulo 10** do **volume de Biologia**.

Linhas de campo magnético da Terra.

Muito antes de utilizarmos magnetismo para nos comunicarmos a partir de mensagens por aplicativos nos celulares, uma outra forma de envio de textos que fazia uso do magnetismo também era utilizada: os pombos-correios. Talvez você já tenha ouvido falar sobre eles em filmes e livros. Esses animais eram utilizados para o envio de cartas, pois possuem a capacidade de se orientar espacialmente a partir das linhas de campo magnético da Terra. Essa capacidade de orientação espacial é chamada de **magnetorrecepção**, e é encontrada prioritariamente em aves, que utilizam essa habilidade para a realização de movimentos migratórios. Algumas espécies de outros animais, como tubarões, tartarugas, abelhas e moscas, também possuem essa capacidade.



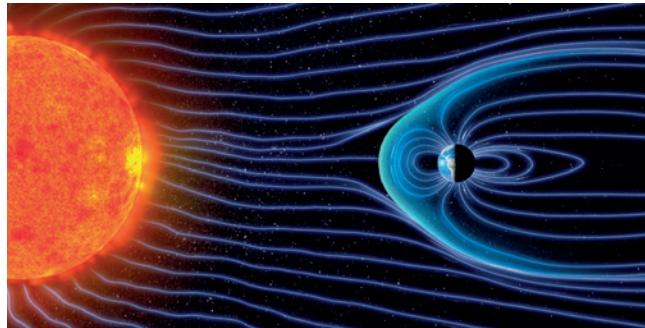
Bettmann/Getty Images

Pombo-correio.

Saiba mais

Auroras polares

Uma das funções executadas pelo campo magnético da Terra é a proteção contra partículas carregadas que são lançadas pelo Sol. O campo magnético opera como um “escudo”, que impede que as partículas atinjam a superfície do planeta. Uma das decorrências dessa proteção é a existência das auroras polares.

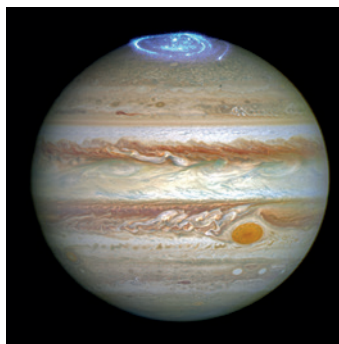


EUJINOX GRAPHICS/SCIENCE PHOTO LIBRARY/ Fotostema

Representações simplificadas em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

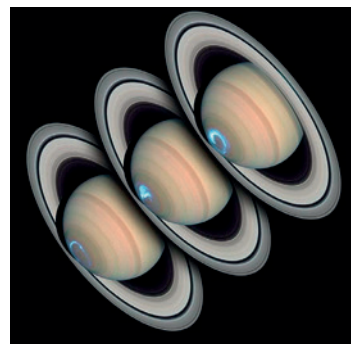
Representação dos ventos solares e da magnetosfera terrestre.

A presença de auroras polares não é exclusiva da Terra. Em outros astros do Sistema Solar também ocorre este fenômeno.



NASA, ESA

Aurora polar em Júpiter.



NASA/ESA/J. Clarke (Boston University)

Aurora polar em Saturno.

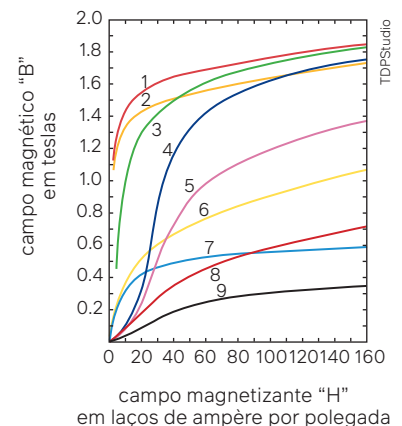
Aplicações tecnológicas do magnetismo

Ao longo do tempo, a humanidade desenvolveu diferentes aplicações tecnológicas que utilizam o magnetismo. A primeira registrada foi a bússola, mas hoje temos diversas outras aplicações que são fundamentais para o funcionamento de aparelhos eletrônicos e para o armazenamento e a transmissão de informações digitais. Aqui, vamos apresentar algumas dessas aplicações.

Armazenamento de informações

Uma aplicação muito relevante do magnetismo atualmente está relacionada com a forma como podemos armazenar e transmitir informações. Vimos que uma das maneiras de tornar um material magnético é a indução magnética, ou seja, ao aproximarmos um ímã permanente de um material que pode ser magnetizado, podemos reorientar os domínios magnéticos, conferindo ao material propriedades magnéticas antes não existentes.

Ao realizarmos a imantação de um material, podemos registrar como a intensidade do campo externo (material indutor) afeta a intensidade do campo magnético interno (material induzido). Quando verificamos experimentalmente o comportamento dependente dessas grandezas, observamos que o processo não ocorre de maneira linear em toda sua extensão, e há um limite de intensidade para o campo induzido, que chamamos de **saturação magnética**.



Curva de saturação magnética, indicando limites do campo magnético produzido em função do aumento do campo magnetizante externo.

Fonte: STEINMETZ, C. *Theory and Calculation of Electric Circuits*. Nova York: McGraw-Hill, 1917. p. 84.

A saturação magnética, associada à histerese magnética, é utilizada para o armazenamento de informações em discos rígidos (do inglês, *Hard Disks* ou HDs, por exemplo). A histerese magnética é a capacidade de um material, inicialmente não magnético, de se manter magnetizado mesmo após o fim do campo magnético indutor.

Gravação de informações em HDs

Os HDs são utilizados para o armazenamento e transmissão de informações e utilizam os processos magnéticos descritos anteriormente.

Talvez você já tenha ouvido falar que os computadores funcionam a partir de códigos binários. Esses códigos são um conjunto de números 0 e 1, em sequência, que possuem um significado para o funcionamento do computador. Cada número (0 ou 1) é chamado de *bit*, e um conjunto de 8 *bits* se chama *byte*. Os computadores processam a informação desses *bytes* e os relacionam com uma função que deve ser executada.

Quando falamos de armazenamento de informações nos HDs, o que fazemos é relacionar os 0 e 1 com a indução de um polo norte ou polo sul em cada pequeno espaço do disco rígido. Os HDs são compostos de materiais ferromagnéticos, portanto, podem sofrer indução magnética e ter as orientações de campo mantidas em sua superfície, gravando uma determinada informação. Posteriormente, é utilizada uma cabeça de leitura que passa pelos trilhos do disco rígido, identificando os polos norte e sul e transformando essas informações em 0 ou 1.

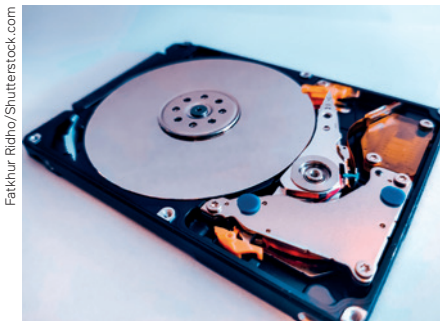
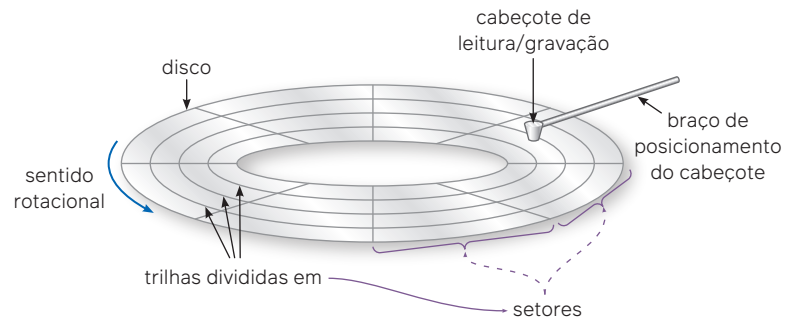


Imagem de um disco rígido de armazenamento de dados.



Esquema de registros magnéticos gravados em setores e trilhas do disco.

Cartões magnéticos

Os cartões magnéticos que utilizamos em bancos armazenam informações de forma semelhante à dos computadores. Na faixa preta que fica no verso dos cartões, são armazenadas informações a partir da indução magnética, de modo parecido com os discos rígidos.

Ao passarmos a faixa na leitura de máquinas, essas informações de indução de polo norte ou sul são convertidas para informações binárias (0 ou 1) para serem interpretadas. Conforme vimos nos processos de desmagnetização, é possível fazer com que um material perca suas propriedades magnéticas. Isso acontece com alguns cartões quando ficam expostos a um ímã intenso por um longo período, por exemplo.



Carrossel de imagens

Diferentes formas de armazenamento de informações

Recapitule

Neste capítulo, estudamos algumas propriedades do magnetismo. Iniciamos com o estudo de materiais naturalmente magnéticos e a possibilidade de magnetizar outros materiais. Estudamos as polaridades dos ímãs, compreendendo parte da estrutura microscópica relacionada ao magnetismo. Aprofundamos o conceito de campo magnético e como as linhas de campo são utilizadas para descrevê-los. Estabelecemos a relação entre a atração e repulsão magnética e o comportamento do campo magnético ao redor de um ímã. Em seguida, estudamos os processos de magnetização e desmagnetização da matéria. Abordamos conceitos mais avançados como saturação e histerese magnética, explorando como estes fenômenos se relacionam com o armazenamento e transmissão de informações. Por fim, examinamos aplicações naturais do magnetismo, como a magnetorecepção em organismos vivos, demonstrando a relevância deste fenômeno além do contexto tecnológico. Agora, retome as questões apresentadas na seção inicial do capítulo, no box **Para refletir**. Com base no que você aprendeu, como responderia a essas questões? Você mudaria alguma de suas respostas?

Fenômenos eletromagnéticos

CAPÍTULO

16

cyo bo/Shutterstock.com



Trem Maglev (do inglês: *Magnetic Levitation Transport*) operando em Xangai, China, 2022. Os trens Maglev são sistemas de transporte ferroviário que utilizam levitação magnética para flutuar sobre os trilhos, proporcionando deslocamentos rápidos e suaves.

▼ Para refletir

1. Como a energia cinética está envolvida no processo de geração de energia elétrica?
2. Como a movimentação dos elétrons está relacionada com a propriedade magnética da matéria?
3. Já vimos em outros momentos que a luz visível, por exemplo, é uma onda eletromagnética. Como a eletricidade e o magnetismo estão relacionados? Como a relação entre essas duas áreas está envolvida com movimentos ondulatórios?

Objetivos do capítulo

- Compreender a relevância do experimento de Oersted, identificando que a corrente elétrica induz um campo magnético ao seu redor.
- Utilizar a regra da mão direita para determinar o sentido da corrente elétrica e do campo magnético.
- Operar matematicamente com a lei de Biot-Savart aplicada a diferentes geometrias.
- Compreender a lei de Faraday-Lenz.
- Explicar diferentes situações a partir da lei de Faraday-Lenz.
- Operar matematicamente com a lei de Faraday-Lenz.

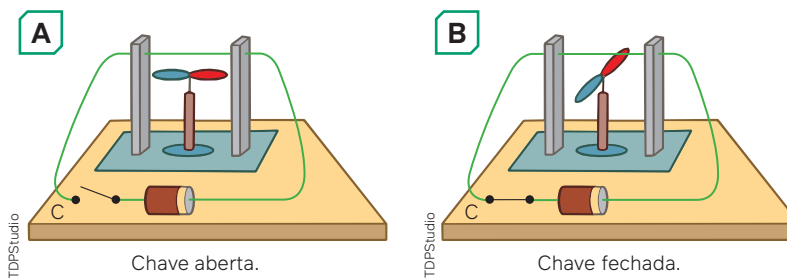
Eletricidade e magnetismo interligados

Já mencionamos em diversos momentos nesta unidade a existência da relação entre a eletricidade e o magnetismo. Você já deve ter desconfiado da união dessas áreas em outros momentos, como no estudo sobre as ondas eletromagnéticas. Neste capítulo, estudaremos a forte conexão existente entre eletricidade e magnetismo e veremos algumas implicações que essa relação possui para a Física.

O experimento de Oersted

Embora já houvesse indícios anteriores da existência da relação entre o magnetismo e a eletricidade, atribui-se ao experimento de Hans Christian Oersted (1777-1851), realizado em 1820, a primeira evidência experimental de que há uma relação de fato entre essas duas áreas. Oersted verificou que, ao aproximar uma bússola de que há um fio por onde passa uma corrente elétrica, a agulha dela sofre uma deflexão. No entanto, para que seja possível observar essa alteração, uma condição inicial é necessária: o fio condutor deve estar orientado paralelamente à agulha da bússola. Essa condição é necessária para que seja possível observar a movimentação da agulha da bússola quando ocorre a passagem de corrente.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

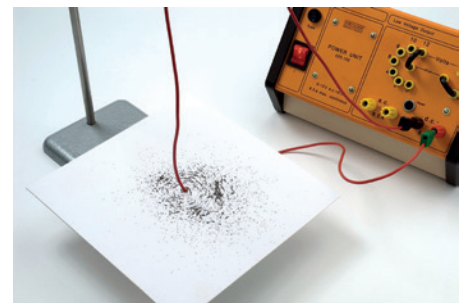


Representação do experimento de Oersted. Em (A), quando a chave está aberta, a agulha da bússola está paralela ao condutor e, em (B), quando a chave é fechada, a corrente elétrica que percorre o fio gera um campo magnético que resulta no movimento da agulha da bússola.

Campo magnético gerado ao redor de um fio

Ao redor de um fio por onde passa corrente elétrica ocorre a geração de um campo magnético que o circula. Utilizando limalha de ferro para mapear a geometria desse campo induzido, observamos orientações semelhantes às da imagem ao lado.

Com base nessa imagem, percebemos que a representação dessa situação não pode se limitar apenas a duas dimensões. A partir deste ponto, a visualização tridimensional será de grande importância, e utilizaremos algumas notações específicas para esse tipo de modelagem. Em seguida, exploraremos como associar o sentido da corrente elétrica com o das linhas do campo magnético induzido e como esboçar essas observações de maneira esquemática.

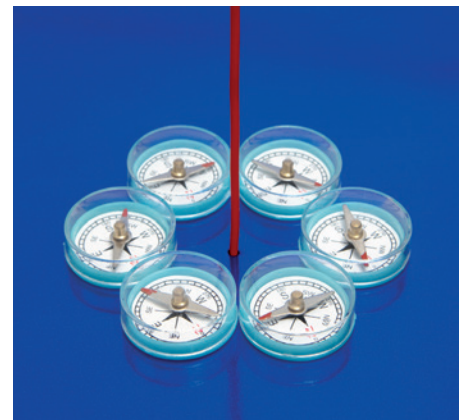


Orientações da limalha de ferro em função das linhas de campo magnético nas proximidades de um fio por onde passa corrente elétrica.

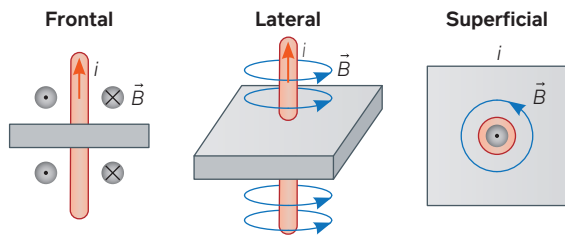
Direção e sentido do campo magnético induzido

O sentido das linhas de campo magnético induzido depende diretamente do sentido da corrente elétrica que atravessa o fio. Já vimos que as linhas de campo são circulares ao redor do fio e, em função perpendicular a ele. Agora, vamos compreender como o sentido do campo é determinado. Para conhecer essa orientação, podemos colocar uma bússola ao redor do fio e identificar sua orientação tendo em vista o sentido da corrente. Utilizamos a notação \vec{B} para indicar o campo magnético. Observe a imagem ao lado que demonstra essa situação.

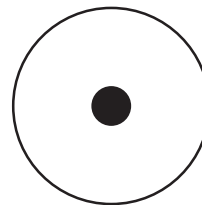
Bússolas se orientando com base nas linhas do campo magnético induzido em decorrência da passagem de corrente elétrica em um fio de cobre.



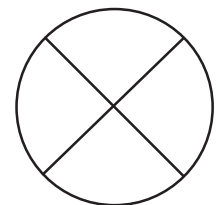
Podemos representar essa imagem sem a indicação das bússolas, apenas com as linhas de campo induzido. Note que podemos ter diferentes visões de observação considerando a tridimensionalidade deste fenômeno.



Ericson Guilherme



Vetor de B saindo do papel



Vetor de B entrando no papel

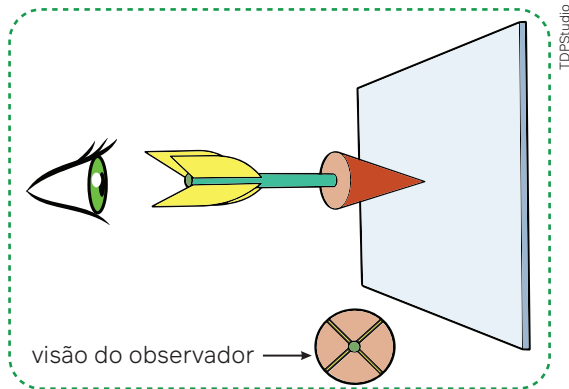
TDPStudio

Visões frontal, lateral e superficial do campo magnético induzido decorrente da passagem de corrente elétrica.

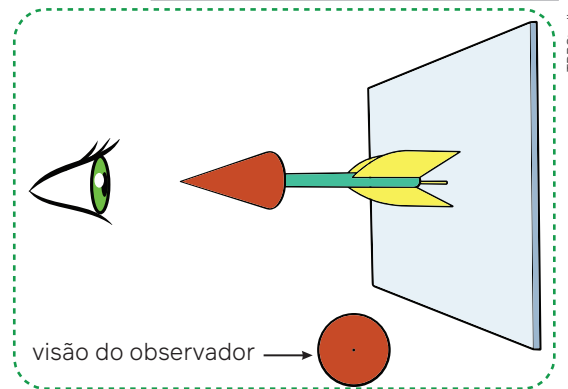
Representação tridimensional dos vetores (na direção da "profundidade", perpendicular ao plano cartesiano).

Esses símbolos indicam se estamos representando um vetor que está saindo do plano do desenho no papel ou entrando nele. Quando utilizamos o símbolo da esquerda, indicamos que o vetor está saindo do plano da folha, já o da direita indica um vetor que está entrando nele. A escolha desses símbolos está associada ao formato do vetor, que é semelhante ao de uma flecha. Essas representações indicam o que um observador veria se uma flecha se aproximasse ou se afastasse dele.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



TDPStudio

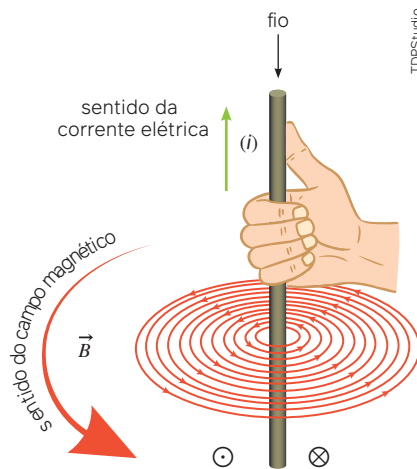


TDPStudio

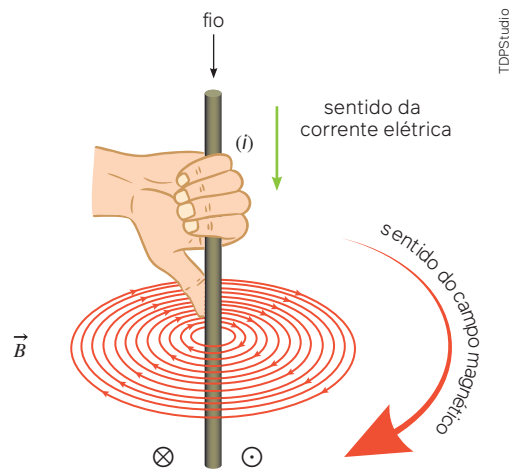
Visão do observador sobre os vetores.

Para identificar o sentido das linhas do campo magnético sem o auxílio de uma bússola, utilizamos a regra da mão direita. Essa técnica consiste em alinhar o polegar da mão direita com o sentido da corrente elétrica que percorre o fio, enquanto os demais dedos indicam a orientação das linhas do campo magnético, com as pontas mostrando a direção do vetor.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



TDPStudio



TDPStudio

Representação da regra da mão direita.

Até agora consideramos apenas a direção e o sentido do campo magnético induzido. No entanto, também é possível determinar a intensidade deste campo por meio da lei de Biot-Savart.

Lei de Biot-Savart

Além de Oersted, outros cientistas tiveram interesse em estudar as relações entre eletricidade e magnetismo. Dois deles foram os franceses Jean-Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841). Eles desenvolveram em conjunto, também em 1820, uma expressão matemática para descrever quais grandezas estavam envolvidas na determinação da intensidade da força magnética induzida decorrente da passagem de uma corrente elétrica por um fio. De acordo com essa lei, podemos chegar à conclusão que a intensidade do campo magnético induzido depende diretamente da intensidade da corrente elétrica (i) e da permeabilidade magnética do meio (μ), e inversamente da distância em relação ao fio (d). Matematicamente, a equação que determina a magnitude do campo magnético induzido (B) ao redor do fio é:

$$B = \frac{\mu i}{2\pi d}$$

No Sistema Internacional, a unidade de medida do campo magnético é tesla (T), a da corrente elétrica é ampère (A), a da permeabilidade magnética é $T \cdot m/A$ e a da distância é o metro (m).

A permeabilidade magnética do meio é a grandeza que qualifica quanto ele é permissivo ou não em relação ao fluxo de campo magnético. No vácuo, a permeabilidade magnética é constante e igual a $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} T \cdot m/A$.

Note que a equação apresentada anteriormente para a determinação da magnitude do campo magnético possui no denominador a expressão $2\pi d$. Se retomarmos os estudos sobre a geometria euclidiana, lembraremos que essa é a equação utilizada para calcular o perímetro de circunferências. Não é sem motivo que essa expressão aparece na lei de Biot-Savart aplicada ao campo magnético induzido ao redor dos fios, afinal, vimos que as linhas de campo se orientam sempre de maneira circular ao redor dos fios percorridos por uma corrente elétrica. Isso acontece porque a geometria do material é determinante tanto para a direção e o sentido do campo induzido como para sua magnitude. Mais adiante veremos como o campo magnético induzido se comporta ao redor de outras formas geométricas comuns por onde ocorre a passagem da corrente elétrica.

Ciência por dentro

Realização do experimento de Oersted

Material:

- bússola;
- fio condutor de energia;
- pilha;
- régua.

Procedimento

Configure os materiais disponíveis de forma a estruturar o experimento de maneira semelhante ao esquema apresentado para o experimento realizado por Oersted.

Além das observações do experimento de Oersted, nesta atividade você também poderá observar o efeito Joule acontecendo na prática. Ao fixar as pontas do fio condutor nas extremidades da pilha, você produzirá um curto-circuito, e a energia elétrica disponibilizada por ela será convertida em energia térmica. Isso poderá aquecer as extremidades da pilha. Portanto, cuidado para não queimar as mãos.

Atenção!

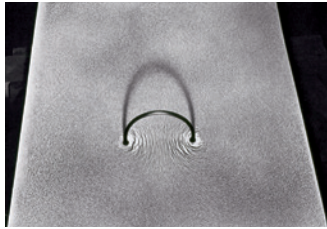
Cuidado, possível aquecimento no fio

Trocando ideias

1. Prenda as pontas do fio condutor nas extremidades da pilha. O que acontece com a agulha da bússola? Faça com que a bússola percorra uma circunferência ao redor do fio e observe como a agulha se orienta. Faça um desenho esquemático da situação, evidenciando o sentido da corrente elétrica e o sentido do campo magnético.
2. Inverta a polaridade da pilha e repita o procedimento do item anterior. Compare as observações realizadas em cada um dos itens: quais são as semelhanças e as diferenças?
3. De maneira qualitativa, é possível dizer que ocorre a geração de um campo magnético ao redor do fio, que faz com que a bússola se alinhe a ele. No entanto, do ponto de vista quantitativo, sabemos que a agulha da bússola se orientava inicialmente com o campo magnético da Terra. Portanto, para que a bússola tenha sofrido deflexão, é necessário que o campo gerado ao redor do fio tenha sido localmente maior do que o campo da Terra. Estime quanto maior este magnético induzido é em relação ao da Terra.

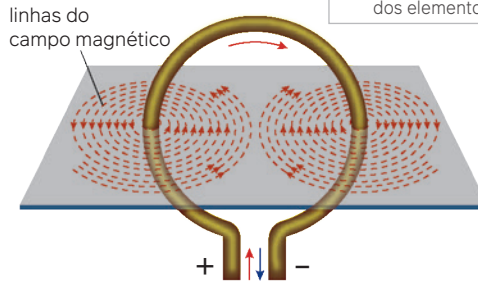
Espira

Chamamos de espira todo fio que tenha formato de circunferência, ou seja, é fechado em si, como um anel. Quando materiais com essa geometria são atravessados por corrente elétrica, também temos a observação de um campo magnético induzido ao seu redor. Utilizando limalha de ferro para mapear a geometria do campo magnético induzido, temos representações como as das imagens a seguir.



Limalha de ferro alinhando-se às linhas do campo magnético induzido ao redor de uma espira.

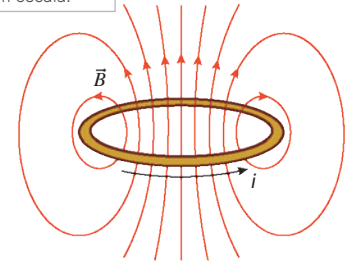
New York Public Library/Science Source/Fotorena



linhas do campo magnético

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

TDPStudio



TDPStudio

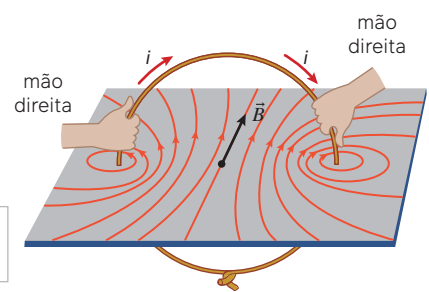
Representação das linhas de campo magnético induzido ao redor de uma espira.

Em relação ao sentido do campo, podemos utilizar novamente a regra da mão direita. Orientando o polegar no sentido da corrente elétrica, as pontas dos outros dedos indicarão o sentido do campo magnético.

Em relação à magnitude do campo magnético induzido (B) no centro da espira, essa grandeza pode ser determinada, matematicamente, pela equação a seguir:

$$B = \frac{\mu i}{2R}$$

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Regra da mão direita aplicada às espiras.

TDPStudio

Neste caso, R é o raio da espira e tem o metro (m) como unidade de medida no Sistema Internacional.

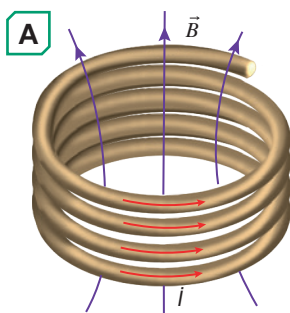
Bobinas e solenoides

As bobinas e os solenoides podem ser compreendidos como um conjunto de espiras sobrepostas e concêntricas. O que diferencia os dois é a proporção entre o raio das espiras que os compõem e suas alturas. Quando a altura é menor do que a altura, chamamos de solenoide.

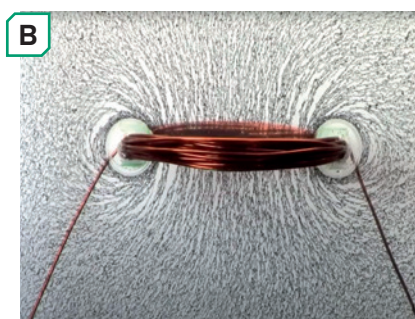
As linhas de campo ao redor das bobinas se comportam de maneira muito semelhante às das espiras e podemos utilizar a regra da mão direita para determinar o sentido das linhas de campo induzido. Além disso, a magnitude do campo se intensifica conforme a quantidade de espiras que são utilizadas para compor a bobina. Matematicamente, a expressão para determinar a intensidade do campo magnético induzido ao redor das bobinas é igual a:

$$B = N \frac{\mu i}{2R}$$

Onde N é o número de espiras.



TDPStudio



UniServeScience/IDEOL/ Youtube.com

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

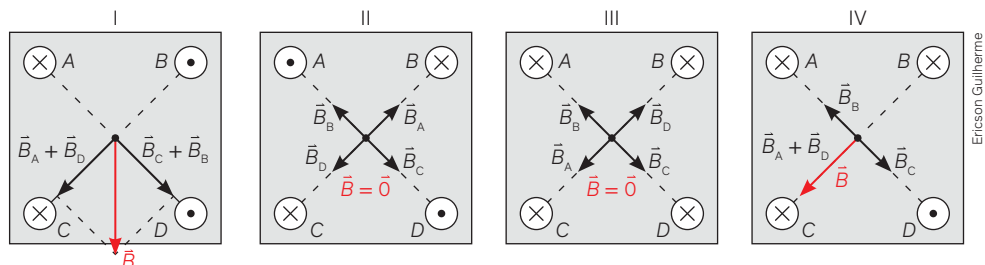
Representação das linhas de campo magnético induzido ao redor de uma bobina (A) e experimento com limalha de ferro alinhando-se às linhas desse campo (B).

Por outro lado, os solenoides, por terem uma geometria um pouco diferente daquela da bobina, terão as linhas de campo ao seu redor se comportando de maneira distinta.

Resolução

Como as correntes elétricas que passam pelos fios têm a mesma intensidade, e eles possuem a mesma distância em relação ao centro, podemos dizer que o módulo do campo magnético será sempre o mesmo, independentemente do fio. Dessa maneira, precisamos saber qual é a situação em que os vetores dos campos magnéticos possuem a mesma direção e sentidos opostos, de tal forma que suas contribuições para a geração do campo magnético se anulem. A imagem a seguir esquematiza essa representação vetorial.

Portanto, a alternativa correta é a **d**.

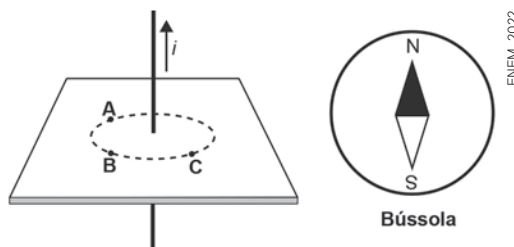


Ericson Guilherme

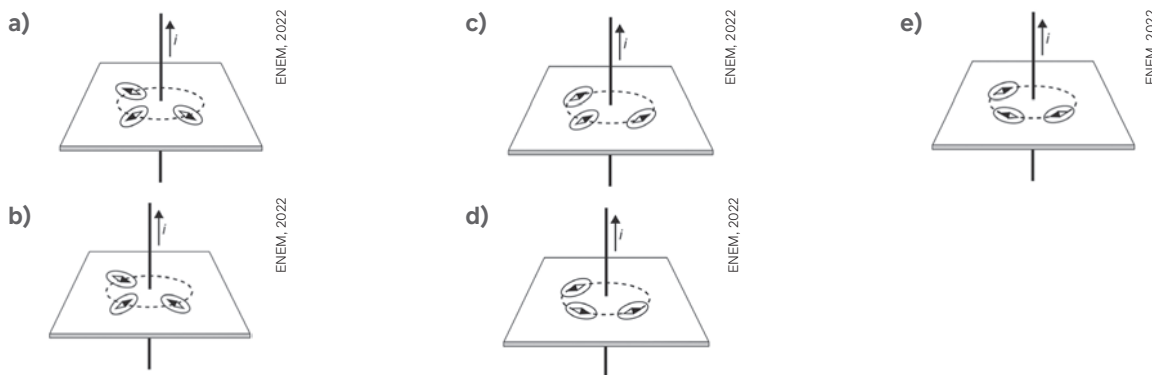
Atividades propostas



- (Enem – 2022) O físico Hans C. Oersted observou que um fio transportando corrente elétrica produz um campo magnético. A presença do campo magnético foi verificada ao aproximar uma bússola de um fio conduzindo corrente elétrica. A figura ilustra um fio percorrido por uma corrente elétrica i , constante e com sentido para cima. Os pontos **A**, **B** e **C** estão num plano transversal e equidistantes do fio. Em cada ponto foi colocada uma bússola.



Considerando apenas o campo magnético por causa da corrente i , as respectivas configurações das bússolas nos pontos **A**, **B** e **C** serão:

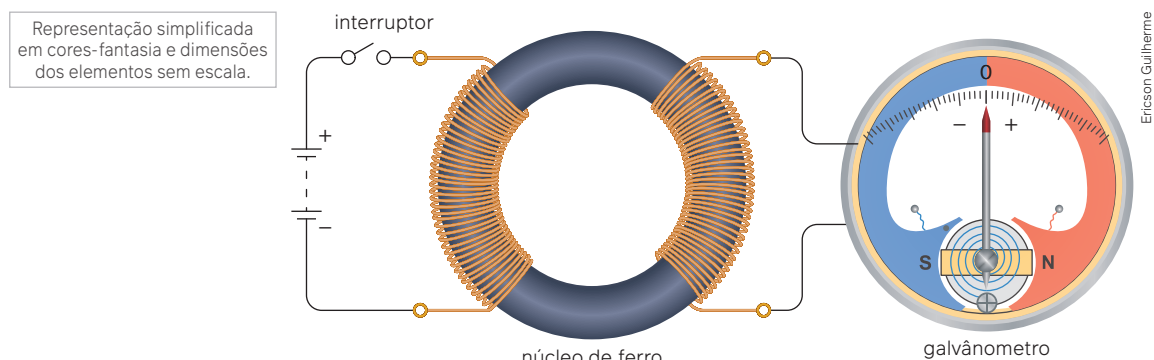


- (Enem – 2017) Um guindaste eletromagnético de um ferro-velho é capaz de levantar toneladas de sucata, dependendo da intensidade da indução em seu eletroímã. O eletroímã é um dispositivo que utiliza corrente elétrica para gerar um campo magnético, sendo geralmente construído enrolando-se um fio condutor ao redor de um núcleo de material ferromagnético (ferro, aço, níquel, cobalto). Para aumentar a capacidade de carga do guindaste, qual característica do eletroímã pode ser reduzida?
 - Diâmetro do fio condutor.
 - Distância entre as espiras.
 - Densidade linear de espiras.
 - Corrente que circula pelo fio.
 - Permeabilidade relativa do núcleo.

Indução eletromagnética

A busca por explicações unificadoras foi um anseio de diferentes físicos ao longo da história. A procura por uma unidade entre a eletricidade e o magnetismo se intensificou após o desenvolvimento do trabalho de Oersted e outras personalidades, uma vez que foi possível mostrar experimentalmente que cargas elétricas em movimento, ao longo de um fio, por exemplo, poderiam gerar campo magnético. Com essa evidência, outros físicos começaram a pensar se existiria uma forma de o magnetismo também gerar eletricidade. No século XIX, de maneira independente, três cientistas chegaram à conclusão de que era possível observar a geração de eletricidade por meio do magnetismo. Aqui, vale destacar as contribuições de Michael Faraday (1791-1867) e de Heinrich Lenz (1804-1865).

O experimento utilizado por Faraday para evidenciar uma relação de via dupla entre a eletricidade e o magnetismo era composto de dois solenoides enrolados em um anel de ferro.



Experimento de Faraday.

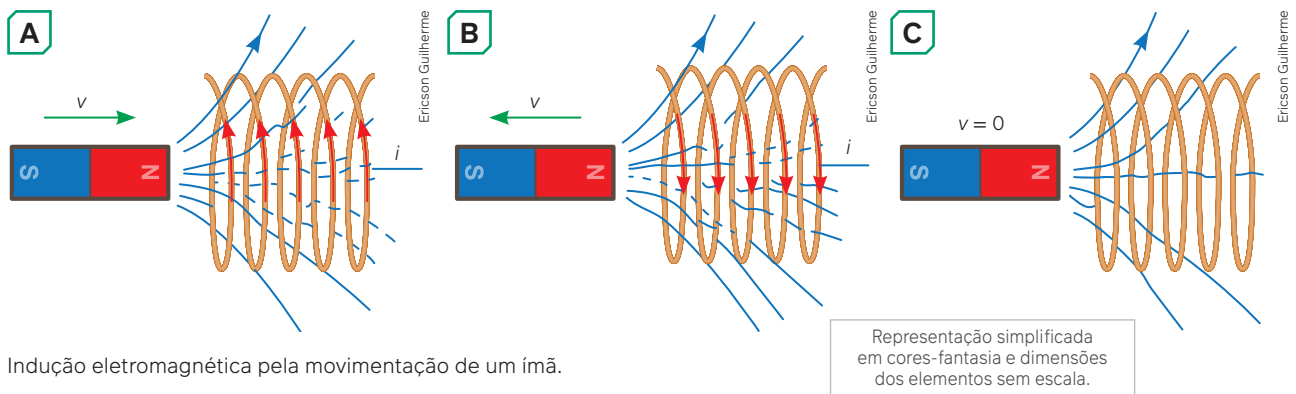
Faraday observou que, ao se fechar o interruptor, permitindo, portanto, a passagem de corrente no solenoide do lado esquerdo, observava-se também que o ponteiro do galvanômetro tinha um movimento inicial, mas que voltava ao valor original. É importante salientar que o galvanômetro é um instrumento utilizado para realizar a medição de corrente elétrica, ou seja, o que Faraday constatou foi que a passagem de corrente elétrica inicial no solenoide da esquerda era capaz de gerar uma corrente elétrica, ainda que não estável no solenoide da direita. Outra observação relevante foi realizada quando da interrupção da passagem de corrente elétrica no solenoide da esquerda. Quando isso ocorria, observava-se que o galvanômetro também indicava a passagem de corrente no outro solenoide, o da direita.

Esse experimento provoca algumas questões intrigantes, duas delas são: como a passagem de corrente em um dos solenoides pode gerar a passagem de corrente no outro, mesmo que esses materiais não estejam em contato? Por que a corrente gerada não é contínua como no solenoide inicial, ou seja, por que ocorre interrupção da geração de corrente elétrica? As respostas dessas perguntas são relevantes para definirmos o que chamamos de indução eletromagnética. Vamos, agora, buscar responder a essas questões.

A resposta da primeira pergunta está na origem do nome do fenômeno que estamos estudando: a indução eletromagnética. Ocorre que a passagem de corrente contínua em um dos solenoides é capaz de criar um campo magnético induzido ao redor dele. Por outro lado, a variação do campo magnético próximo de um material condutor fechado pode gerar a passagem de corrente elétrica por ele. Ou seja, vemos que, além de existir a possibilidade de induzir magnetismo pela eletricidade, agora também somos capazes de evidenciar o surgimento de eletricidade como decorrência do magnetismo. A esse fenômeno de mútua geração de propriedades magnéticas oriundas de correntes elétricas e vice-versa damos o nome de **indução eletromagnética**.

A segunda pergunta que levantamos pode ser respondida quando compreendemos como o movimento é um mediador da indução eletromagnética. Primeiramente, para que a eletricidade seja capaz de gerar propriedades magnéticas, é necessário que tenhamos corrente elétrica, ou seja, um movimento ordenado de cargas. Caso tenhamos apenas cargas elétricas em repouso, podemos dizer que há linhas de campo elétrico ao redor dessas cargas, mas não linhas de campo magnético. Apenas observamos o surgimento de linhas de campo magnético ao redor de um fio quando há **movimentação** ordenada de elétrons (corrente elétrica). Para a observação da geração de eletricidade pelos campos magnéticos, também é necessário haver uma **variação** desses campos magnéticos. Esse é o princípio por trás da verificação da corrente elétrica induzida no experimento de Faraday. A corrente foi observada apenas no início e no final da passagem dela pelo solenoide, esses foram os únicos momentos em que o campo magnético induzido variou. Em todos os outros instantes, as linhas de campo magnético permaneceram estáveis, não gerando, assim, corrente elétrica induzida.

Outra maneira de observar a ocorrência da indução eletromagnética é pela movimentação de um ímã nas proximidades de uma bobina ou solenoide. Sabemos que, para a ocorrência da indução, é necessário que haja a variação do campo magnético.



Indução eletromagnética pela movimentação de um ímã.

Note que, quando o ímã se movimenta, é possível observar o surgimento da corrente elétrica induzida, o que não ocorre quando este está em repouso.

Até então, descrevemos o fenômeno da indução pelo que é possível observar experimentalmente. Agora faremos também o tratamento matemático desse fenômeno.

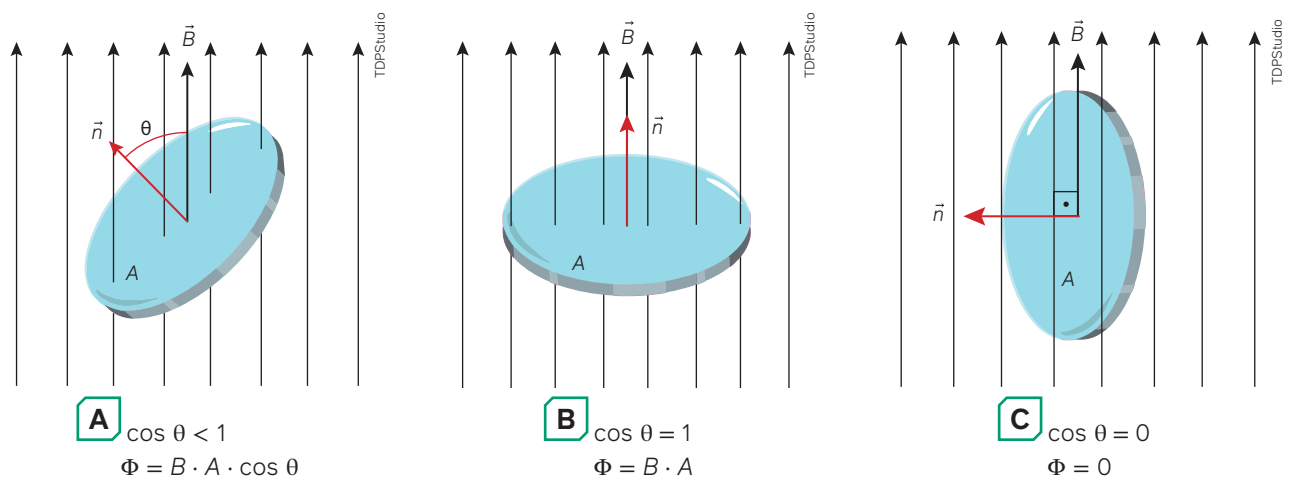
Fluxo magnético

Uma grandeza relevante para a descrição matemática da indução eletromagnética é o **fluxo magnético**. Vimos que não basta haver a proximidade de um campo magnético e um condutor fechado, é necessário que ocorra também um movimento relativo entre eles. O fluxo magnético é a grandeza que descreve a quantidade de linhas de campo magnético que atravessam esse material condutor fechado. Assim, ele é uma grandeza que depende diretamente da intensidade do campo magnético e da área que será atravessada por essas linhas de campo. Uma decorrência dessa relação é a necessidade de relevar apenas a quantidade de linhas de campo que atravessam a superfície do condutor; portanto, será necessário considerar o cosseno do ângulo entre as linhas de campo e a direção perpendicular ao plano do condutor. Matematicamente, descrevemos o fluxo magnético (Φ) como:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$$

No Sistema Internacional, a unidade de medida do fluxo magnético é o weber (Wb), a do campo magnético é o tesla (T) e a da área é o metro ao quadrado (m^2).

Para evidenciar a relevância do uso, na equação do cosseno do ângulo entre a direção perpendicular à área e às linhas de campo, podemos analisar as figuras a seguir.



Área útil atravessada pelas linhas de campo.

Note que, quando o ângulo entre o vetor \vec{B} e \vec{n} (vetor normal à superfície) é igual a 0, o cosseno desse ângulo é 1, indicando o maior valor possível do fluxo magnético, dadas a intensidade das linhas de campo e a área. A situação contrária ocorre quando os vetores \vec{B} e \vec{n} são perpendiculares entre si. Neste caso, o cosseno desse ângulo é igual a zero, indicando que não há fluxo magnético da superfície, independentemente da intensidade das linhas de campo e da área da superfície analisada.

Lei de Faraday-Lenz

A partir da definição de fluxo magnético, é possível descrever o fenômeno da indução eletromagnética matematicamente. Para tanto, é importante lembrar que, para que haja o surgimento de corrente elétrica induzida, é necessário que exista **variação** do fluxo magnético ao longo do tempo em uma espira. Matematicamente, a lei da indução eletromagnética é descrita por:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Essa lei também é chamada de lei de Faraday-Lenz, em homenagem aos cientistas que desenvolveram estudos que descrevem esse fenômeno. Na equação, N representa o número de espiras, $\Delta\Phi$ a variação do fluxo magnético, que é medida em weber (Wb), Δt é a variação do tempo, cuja unidade de medida no Sistema Internacional é o segundo (s), e ε é a tensão elétrica induzida ou força eletromotriz induzida, fornecida em volts (V) no SI.

Note que, quando descrevemos o fenômeno da indução, falamos sobre o surgimento de uma corrente elétrica induzida. No entanto, na equação, não descrevemos o fenômeno por meio da corrente, mas sim da tensão elétrica que é induzida no material. Essa descrição é válida, pois sabemos que essas duas grandezas estão relacionadas, como vimos pela primeira lei de Ohm. O sinal negativo da equação é descrito pela lei de Lenz, que versa sobre o sentido da corrente induzida e garante a validade do princípio da conservação da energia na descrição desse fenômeno. Veremos, agora, mais detalhes da lei de Lenz.

O sentido da corrente elétrica induzida

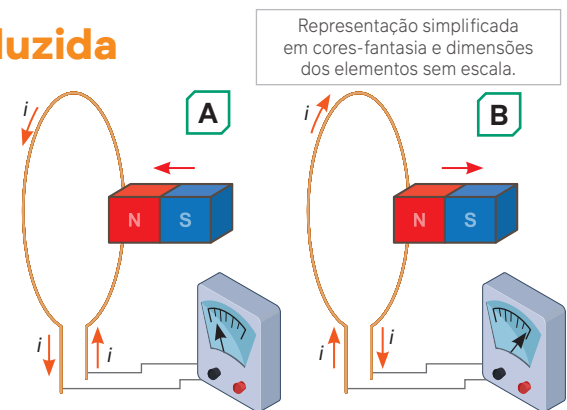
Um aspecto importante sobre a corrente elétrica induzida é que o seu sentido depende do sentido de movimento dos polos magnéticos em relação à espira. Inicialmente, ele era determinado empiricamente por meio de experimentos, até que Heinrich Lenz formulasse teoricamente uma maneira de descrever o sentido da corrente.

De acordo com a lei de Lenz, podemos dizer que a corrente elétrica induzida deve ser tal que o campo magnético induzido por ela seja capaz de se opor à variação do campo magnético externo. Essa oposição está relacionada ao sinal negativo presente na equação e garante a validade do princípio de conservação da energia na observação desse fenômeno. Vamos analisar as duas situações apresentadas a seguir.

Na representação em **(A)**, ocorre a aproximação do polo norte do ímã em relação a espira. Neste caso, para que surja na espira um campo magnético induzido que seja capaz de se opor a essa aproximação do polo norte, é necessário que o campo magnético induzido tenha o polo norte virado para a direção de aproximação do ímã (a oposição, neste caso, quer dizer se opor à aproximação de um polo norte, portanto, a repulsão deste polo). Utilizando a regra da mão direita, chegamos no sentido da corrente elétrica indicado na imagem.

Um caso diferente ocorre na imagem em **(B)**. Nessa situação, não temos mais a aproximação, mas sim o afastamento do polo norte. O comportamento de oposição ao afastamento do polo norte é a atração por este polo. Para que isso ocorra, é necessário que na espira seja induzido um polo sul. Usando novamente a regra da mão direita, mas agora com a indução do polo sul na espira, chegamos no sentido da corrente elétrica indicado na imagem.

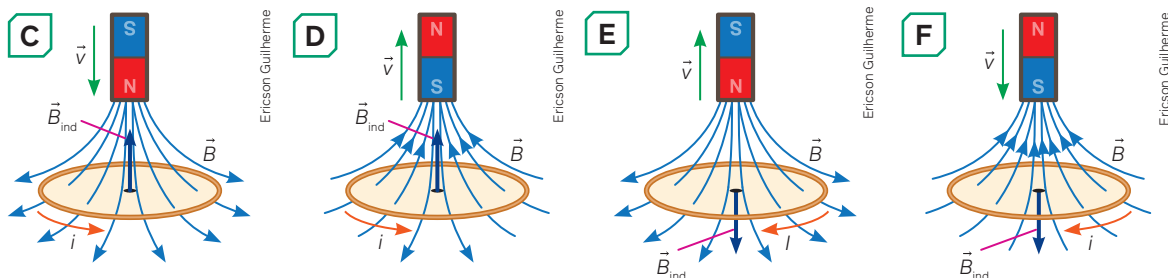
Note que, para saber o sentido da corrente induzida, precisamos avaliar o movimento relativo entre a espira e o ímã. Nos casos mencionados, a imagem em **(B)** poderia ser redesenhada com o ímã em repouso e a espira se afastando para a esquerda, por exemplo. Como as condições de aproximação e repulsão dos polos seriam as mesmas, essas situações são análogas do ponto de vista da indução eletromagnética. Outras situações equivalentes às apresentadas são, respectivamente, o afastamento do polo sul do ímã em relação à espira (para a imagem **A**) e a aproximação do polo sul do ímã em relação à espira (para a imagem **B**).



Determinação do sentido da corrente induzida.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Ilustrações: Ericson Guilherme



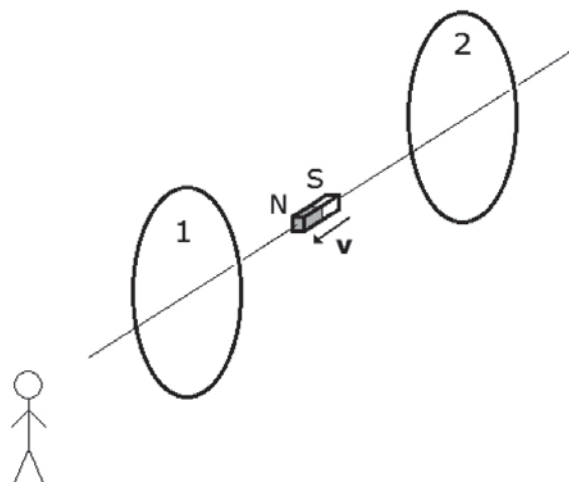
Determinação do sentido da corrente induzida.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



UFRGS, 2017

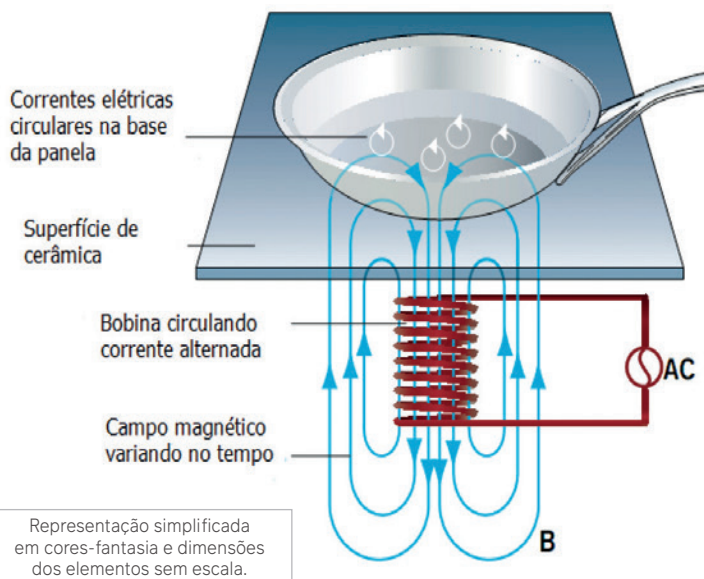
1. (UFRGS – 2017) O observador, representado na figura, observa um ímã que se movimenta em sua direção com velocidade constante. No instante representado, o ímã encontra-se entre duas espiras condutoras, 1 e 2, também mostradas na figura.
Examinando as espiras, o observador percebe que
 - a) existem correntes elétricas induzidas no sentido horário em ambas espiras.
 - b) existem correntes elétricas induzidas no sentido anti-horário em ambas espiras.
 - c) existem correntes elétricas induzidas no sentido horário na espira 1 e anti-horário na espira 2.
 - d) existem correntes elétricas induzidas no sentido anti-horário na espira 1 e horário na espira 2.
 - e) existe apenas corrente elétrica induzida na espira 1, no sentido horário.



2. (UFRGS – 2019) O fogão mostrado na figura 1 abaixo não produz chamas nem propaga calor. O cozimento ou aquecimento dos alimentos deve ser feito em panelas de ferro ou de aço e ocorre devido à existência de campos magnéticos alternados, produzidos em bobinas, conforme representado no esquema da figura 2. Os campos magnéticos penetram na base das panelas, criando correntes elétricas que as aquecem.



UFRGS, 2019



UFRGS, 2019

figura 1

figura 2

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem. O processo físico que fundamenta essa aplicação tecnológica é conhecido como e é regido pela lei de

- a) convecção – Faraday-Lenz.
- b) indução – Faraday-Lenz.
- c) indução – Ampère.
- d) radiação – Gauss.
- e) radiação – Ampère.

Aplicações da indução eletromagnética

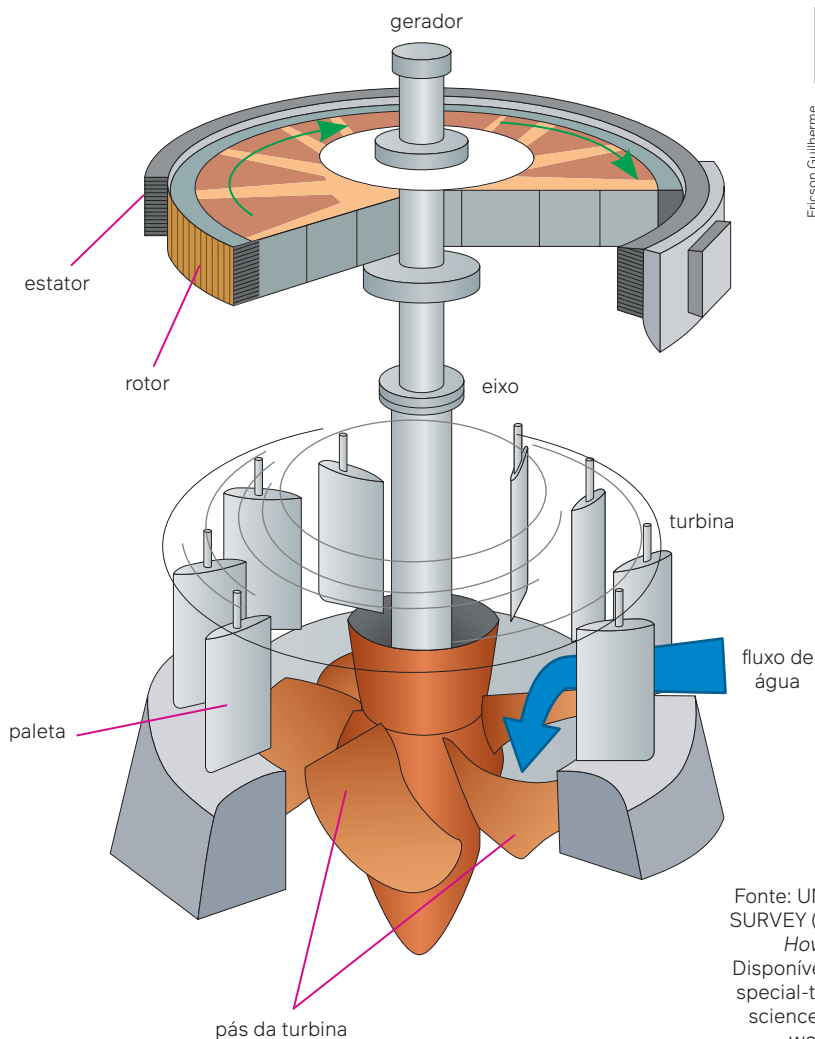
A compreensão do fenômeno da indução eletromagnética permitiu o desenvolvimento de diferentes tecnologias. Podemos citar como a mais essencial delas a geração de energia elétrica nas usinas. Diversas outras aplicações são observadas: os carregadores e fogões por indução, os trens magnéticos, os dínamos, entre outros. Além disso, podemos compreender de maneira mais completa a origem microscópica do magnetismo. Agora, vamos estudar algumas das aplicações da indução eletromagnética.

Geração de energia nas usinas

Exceção feita às usinas solares fotovoltaicas, todos os outros tipos de usina utilizam a indução eletromagnética para a geração de energia. Vimos, no início desta unidade, que a maioria das usinas faziam uso da energia cinética para transformá-la em elétrica. Isso só é possível por conta da indução eletromagnética. Nos geradores, a energia cinética é utilizada para promover a movimentação de um ímã que irá induzir a geração de corrente elétrica.

Magnetismo pelo olhar microscópico

Outro fenômeno natural possível de ser compreendido pela indução eletromagnética é a origem da propriedade magnética dos materiais. Evidenciamos por meio do experimento de Oersted que cargas elétricas em movimento são capazes de induzir um campo magnético ao seu redor. Quando pensamos de maneira microscópica, podemos dizer que a movimentação dos elétrons dos átomos também é capaz de gerar um campo magnético, que está relacionado aos domínios magnéticos e às propriedades magnéticas dos materiais.

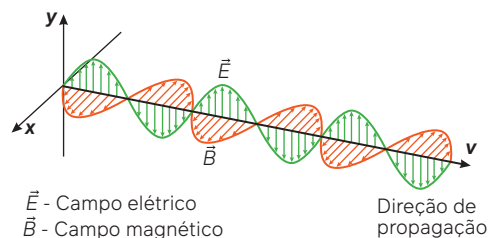


Exemplo de um mecanismo utilizado para a geração de energia elétrica.

Fonte: UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). *Hydroelectric Power: How it Works*. USA: USGS, 2018. Disponível em: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/hydroelectric-power-how-it-works>. Acesso em: 12 set. 2024.

Ondas eletromagnéticas à luz da indução eletromagnética

Neste capítulo falamos que a corrente elétrica é capaz de produzir um campo magnético, e que um campo magnético que varia é capaz de gerar corrente elétrica. Note como há uma recorrência entre essas duas afirmações: se a corrente elétrica gera um campo magnético que varia, então esse campo que foi originado também é capaz de produzir uma corrente elétrica, o que nos leva novamente ao início da frase; portanto, há uma ciclicidade na geração de campos elétricos e magnéticos. Essa sequência alternada de campos elétricos e magnéticos variáveis se propagando no espaço são as conhecidas ondas eletromagnéticas.



Ondas eletromagnéticas: campos elétricos e magnéticos oscilando e se propagando no espaço.

Recapitule

Neste capítulo, fomos capazes de retomar com maior profundidade outros temas trabalhados ao longo desta unidade. Utilizando a lei de Faraday-Lenz como aporte explicativo do fenômeno da indução eletromagnética, compreendemos o que está na base da geração da energia elétrica (assunto que trabalhamos no primeiro capítulo da unidade), além de entendermos de maneira mais aprofundada a origem das propriedades magnéticas dos materiais, que estudamos no capítulo anterior. Fomos capazes também de aprender como determinar o módulo de grandezas que estão envolvidas na indução eletromagnética, além da direção e do sentido das correntes elétricas e dos campos magnéticos induzidos.

Agora, retome as questões do início do capítulo no box **Para refletir**. Com base no que aprendeu, como você responderia a essas questões? Suas respostas iniciais se alterariam?

Planeje e resolva

Interações entre o ser humano e a natureza

A discussão sobre o modo de vida dos seres humanos e os problemas por eles causados está cada vez mais presente dentro e fora da escola. Entre as grandes demandas geradas por eles, a energia elétrica é uma das principais. Será que é verdade? Vamos observar: procure ao seu redor, pode ser na escola ou em casa, e encontre objetos que não tenham consumido nenhum quilowatt de energia elétrica, nem para ser produzidos, nem para chegar até você, nem para a manutenção ou funcionamento no contexto em que você o utiliza ou utilizou. Quantos você consegue identificar? Estão em uso atualmente ou já foram substituídos por opções mais modernas?

Tendo em mente a dificuldade do exercício proposto acima, retorne ao conteúdo desta unidade para revisar as diferentes formas que existem de produzir esse bem tão precioso e indispensável à vida cotidiana. Quais modos de produção de energia elétrica são utilizados no Brasil? Ou seja, qual é a matriz energética brasileira? Quais são as vantagens e desvantagens de cada um desses processos?

Mas será que o modo de vida dos cidadãos brasileiros é semelhante ao das populações de outros países? Será que em todos os países do globo existe a mesma facilidade para acessar a energia elétrica? Haveria, aqui ou em outros lugares, populações vivendo sem eletricidade mesmo nos dias de hoje? Essa questão é essencial, porque se a crise climática e seus efeitos são distribuídos em todo o planeta, os modos de consumo que causam esse problema não são.

Agora é com você!

Planeje e desenvolva um jogo de tabuleiro, cartas, ou outro tipo, que permita a comparação do conjunto dos dados relacionados à matriz energética dos diferentes países do mundo. Defina em grupo quais devem ser os parâmetros utilizados, como: quantidade de energia produzida, de que maneira, quantidade de energia consumida, qual é a relação entre esses números e a quantidade de habitantes, entre outras possibilidades.

Uma alternativa promissora é um jogo de cartas em que o baralho com os dados relacionados à matriz energética pode ser dividido igualmente entre os jogadores, que, por sua vez, buscam se apropriar das cartas dos colegas para vencer a partida. Para isso, as informações contidas nas cartas devem ser comparadas: vence aquele que possuir um país com os maiores ou os melhores valores em cada um dos quesitos apresentados na carta.



1. (Enem – 2021) Carros elétricos estão cada vez mais baratos, no entanto, os órgãos governamentais e a indústria se preocupam com o tempo de recarga das baterias, que é muito mais lento quando comparado ao tempo gasto para encher o tanque de combustível. Portanto, os usuários de transporte individual precisam se conscientizar dos ganhos ambientais dessa mudança e planejar com antecedência seus percursos, pensando em pausas necessárias para recargas.

Após realizar um percurso de 110 km, um motorista pretende recarregar as baterias de seu carro elétrico, que tem um desempenho médio de 5,0 km/kWh, usando um carregador ideal que opera a uma tensão de 220 V e é percorrido por uma corrente de 20 A.

Quantas horas são necessárias para recarregar a energia utilizada nesse percurso?

- a) 0,005
b) 0,125
c) 2,5
d) 5,0
e) 8,0
2. (EEAR – 2023) Quando se anuncia um período de escassez hídrica surge sempre a preocupação com o consumo de energia elétrica residencial. Na casa do Sr. José há 1 chuveiro elétrico de 5 000 W que fica ligado 30 min por dia; um refrigerador de 500 W que fica ligado 24 h por dia e 10 lâmpadas de 10 W cada que ficam ligadas 5 h por dia. Dentre as alternativas a seguir, assinale aquela que apresenta a afirmação correta.
- a) As 10 lâmpadas ligadas, ao final de trinta dias, apresentam um consumo de 18 kWh.
b) O maior responsável pelo consumo de energia elétrica na residência, ao final de 30 dias, é o chuveiro.
c) Ao final de 30 dias, o refrigerador é responsável por 80% do consumo de energia elétrica total da residência.
d) Se reduzir para 15 min o tempo de uso diário do chuveiro, tem-se uma redução no consumo de energia, ao final de 30 dias, em kWh, de 30% da energia total anteriormente consumida na residência.
3. (Enem – 2005) Podemos estimar o consumo de energia elétrica de uma casa considerando as principais fontes desse consumo. Pense na situação em que apenas os aparelhos que constam da tabela a seguir fossem utilizados diariamente da mesma forma.

Tabela: A tabela fornece a potência e o tempo efetivo de uso diário de cada aparelho doméstico.

Aparelho	Potência (kW)	Tempo de uso diário (horas)
Ar-condicionado	1,5	8
Chuveiro elétrico	3,3	1/3
Freezer	0,2	10
Geladeira	0,35	10
Lâmpadas	0,1	6

Supondo que o mês tenha 30 dias e que o custo de 1 kWh é R\$ 0,40, o consumo de energia elétrica mensal dessa casa, é de aproximadamente

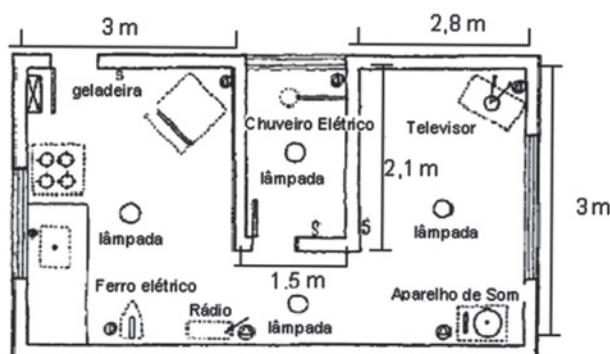
- a) R\$ 135.
b) R\$ 165.
c) R\$ 190.
d) R\$ 210.
e) R\$ 230.
4. (Enem – 2009) A instalação elétrica de uma casa envolve várias etapas, desde a alocação dos dispositivos, instrumentos e aparelhos elétricos, até a escolha dos materiais que a compõem, passando pelo dimensionamento da potência requerida, da fiação necessária, dos eletrodutos*, entre outras. Para cada aparelho elétrico existe um valor de potência associado. Valores típicos de potências para alguns aparelhos elétricos são apresentados no quadro seguinte:

Aparelhos	Potência (W)
Aparelho de som	120
Chuveiro elétrico	3 000
Ferro elétrico	500
Televisor	200
Geladeira	200
Rádio	50

*Eletrodutos são condutos por onde passa a fiação de uma instalação elétrica, com a finalidade de protegê-la.

A escolha das lâmpadas é essencial para obtenção de uma boa iluminação. A potência da lâmpada deverá estar de acordo com o tamanho do cômodo a ser iluminado. O quadro a seguir mostra a relação entre as áreas dos cômodos (em m²) e as potências das lâmpadas (em W), e foi utilizado como referência para o primeiro pavimento de uma residência.

Área do cômodo (m ²)	Potência da Lâmpada (W)		
	Sala/copa/cozinha	Quarto, varanda e corredor	Banheiro
Até 6,0	60	60	60
6,0 a 7,5	100	100	60
7,5 a 10,5	100	100	100



ENEM, 2009

Obs.: Para efeitos dos cálculos das áreas, as paredes são desconsideradas.

Considerando a planta baixa fornecida, com todos os aparelhos em funcionamento, a potência total, em watts, será de

- a) 4 070. c) 4 320. e) 4 470.
b) 4 270. d) 4 390.

5. (UFRR – 2024) Maria está abrindo uma lavanderia e já possui uma máquina de lavar roupas que consome 600 watts de potência e um ferro elétrico que consome 1200 watts. O circuito elétrico da lavanderia é alimentado por uma rede doméstica de 110 volts e está protegido por um fusível de 20 ampères. Maria planeja adquirir uma segunda máquina de lavar roupa para aumentar sua capacidade de lavagem.

Qual deve ser a potência máxima da segunda máquina de lavar roupa, sem sobrecarregar o circuito elétrico e sem exceder a capacidade do fusível, de modo que não seja desarmado?

- a) 400 W c) 1200 W e) 2200 W
b) 600 W d) 1800 W

6. (Fatec-SP – 2024)

NFT X Sustentabilidade

Bens não fungíveis são aqueles cujo valor é variável e não é considerado fixo, como, por exemplo, obras de arte.

NFT (Non-Fungible Token ou Token Não Fungível) é uma espécie de “certificação digital” que usa a tecnologia de entrelaçamento pela criptografia *blockchain* como elemento validador para bens não fungíveis. Essa tecnologia visa definir a originalidade, a autenticidade e a exclusividade de um bem

digital, tais como obras de arte e seus certificados, imagens, pinturas, músicas, vídeos, documentos em geral etc.

Apesar do avanço que essa tecnologia representa, em 2021, a Universidade de Cambridge (Inglaterra) publicou um artigo alertando que, em virtude da constante mineração de dados executada por vários computadores potentes conectados simultaneamente à internet, o consumo de energia provocado pelo *blockchain*, em 1 ano, pode ser até maior do que o consumo anual de um país como a Argentina (cerca de 120×10^9 kWh). Por exemplo, em apenas uma hora, a principal operadora de NFT/*blockchain* atualmente chega a consumir 50 kWh de energia por uma transação realizada. Além do mais, podem ocorrer milhares dessas transações por dia.

Para manter essas operações em funcionamento, geralmente os equipamentos são conectados em rede de energia que gera impacto ambiental. É o caso da produção de energia por hidrelétricas, cujo movimento das turbinas aquece a água, que é dissipada, parcialmente, por evaporação, mas também é devolvida para os rios. O ponto crucial é que a liberação dessas águas mais quentes pode acabar com a vida próxima, podendo provocar problemas na flora e na fauna ao redor desses rios.

De acordo com as informações apresentadas no texto, podemos afirmar corretamente que

- a) a mineração de dados consome muita energia devido às jazidas de minério.
b) a NFT é uma tecnologia que envolve apenas conceitos de eletrônica quântica.
c) a Argentina consome, em kWh/ano, o equivalente a 120 milhões de kWh de energia.
d) a principal operadora de *blockchain* citada consome muito menos energia do que a Argentina.
e) a principal operadora de NFT pode usar, por cada transação, em 1 h, até 50 000 W de potência.
7. (Fame-MG – 2023) Os alimentos assados contêm menor teor de gordura, e são mais nutritivos e ideais para o corpo humano. Na tentativa de uma vida mais saudável, uma pessoa resolve comprar uma fritadeira elétrica, sem óleo, para utilizar no preparo de suas receitas. A tabela a seguir contém as especificações técnicas desse equipamento.

Especificações técnicas	
Largura	31 cm
Profundidade	32,5 cm
Altura	27,5 cm
Tensão	120 V
Potência	1 500 W
Capacidade do cesto	3 litros
Frequência	60 Hz
Variação de Temperatura	200 °C

Para preparar uma porção de batata frita, usando a potência máxima, são necessários 20 minutos de funcionamento do aparelho.

Nessas condições, assinale a alternativa que apresenta, respectivamente, o valor da corrente elétrica, que flui pela fritadeira, bem como o consumo de energia elétrica envolvido nesse preparo.

- a) 12,5 A e 0,5 kWh. c) 25 A e 30 kWh.
b) 12,5 A e 1,5 kWh. d) 25 A e 3 kWh.

8. (UFRR – 2023) Uma família planeja utilizar seus eletrodomésticos na cozinha de sua casa conectados a um circuito de 120 V, com um disjuntor de 15 A. Eles possuem: uma cafeteira de 850 W, uma *air fryer* de 900 W, um forno de micro-ondas de 1200 W e um forno elétrico de 1900 W. Quais desses aparelhos podem ser operados simultaneamente sem desarmar o disjuntor?
- a) Cafeteira, micro-ondas e *air fryer*.
b) Micro-ondas e *air fryer*.
c) Cafeteira e micro-ondas.
d) Cafeteira e *air fryer*.
e) Forno elétrico e cafeteira.

9. (UERJ – 2023) Uma turma de estudantes do ensino médio recebeu a tarefa de verificar a corrente elétrica que se estabelece em quatro aparelhos distintos: uma geladeira, um ferro elétrico, um ar-condicionado e um chuveiro elétrico. Para solucionar a tarefa, foram informados os valores da potência elétrica e da tensão de cada equipamento, conforme consta na tabela abaixo.

Aparelho	Potência (W)	Tensão (V)
Geladeira	360	120
Ferro elétrico	2 520	120
Ar-condicionado	3 300	220
Chuveiro elétrico	4 400	220

A partir das informações disponíveis, a turma concluiu que a maior corrente elétrica se estabelece no seguinte aparelho:

- a) geladeira c) ar-condicionado
b) ferro elétrico d) chuveiro elétrico
10. (Uema – 2022) As residências são abastecidas por energia elétrica proveniente de serviço prestado à população pelas empresas, públicas ou privadas, que operam, cobrando, de acordo com a energia elétrica consumida em um certo período de tempo. As empresas de energia elétrica optaram em trabalhar com potência em quilowatts (kW) e o tempo em horas, medindo a energia consumida em quilowatt-hora (kWh). Considere que, em uma determinada residência, existem alguns aparelhos elétricos que funcionam todos a 220 V, conforme mostra o quadro, com suas respectivas potências.

Aparelhos elétricos	Potência (W)
Ferro de passar roupas	2 200
Chuveiro elétrico	4 800
Secador de cabelo	2 800
Torradeira elétrica	1 000
Aquecedor elétrico	1 500

Considerando que os aparelhos elétricos funcionam durante o mesmo intervalo de tempo, qual deles consome mais energia elétrica?

- a) Ferro de passar roupas
b) Chuveiro elétrico
c) Secador de cabelo
d) Torradeira elétrica
e) Aquecedor elétrico
11. (USS-RJ – 2022) O girassol é uma planta da família das Asteraceae, gênero *Heliantheae*. Ao longo do dia, a planta realiza uma ação heliotrópica, ou seja, se move buscando a máxima incidência de luz solar. Inspirados nesse movimento, foram desenvolvidos painéis solares com ajuste de inclinação para maior absorção de radiação solar, quando comparado aos painéis estáticos, permitindo a otimização do nascer ao pôr do sol, por até 12 horas diárias. Como mostra a figura.



USS, 2022

Um dispositivo solar estilo girassol tem potência média de 1,5 kW, que permite 100 km diários de autonomia para um carro elétrico.

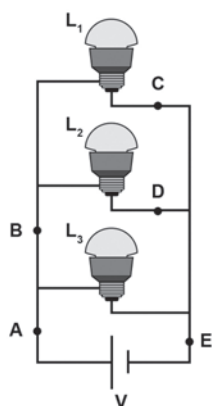
Determine a quantidade de energia elétrica, em kWh, produzida mensalmente pelo dispositivo, considerando o tempo máximo de uso diário.

- a) 45
b) 360
c) 540
d) 1 080
12. (Enem – 2022) Uma família decidiu comprar um aparelho condicionador de ar usando como critério de escolha seu consumo mensal de energia. Suponha que o valor de 1 kWh da conta de energia elétrica dessa família custe R\$ 0,58 (impostos incluídos) e que há bandeira tarifária vermelha correspondendo a R\$ 0,045 para cada 1 kWh consumido. O uso desse aparelho deve representar um acréscimo mensal na conta de energia elétrica da família de R\$ 150,00. O consumo de energia elétrica mensal mais próximo, em quilowatt-hora, que o aparelho deve ter é igual a

- a) 286.
- b) 280.
- c) 259.
- d) 240.
- e) 146.

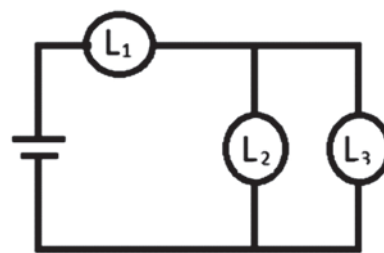
- 13.** (Enem – 2022) A preocupação com a sustentabilidade faz com que se procurem, cada vez mais, métodos eficientes para a economia de energia elétrica. Um procedimento que se pode adotar é a substituição das lâmpadas incandescentes por lâmpadas de LED nas residências. Uma lâmpada incandescente, que opera 8 horas por dia, foi substituída por uma de LED. Elas apresentam 60 W e 8 W de potência nominal de consumo, respectivamente. A redução do consumo de energia elétrica, em quilowatt-hora, obtida durante trinta dias foi
- a) 0,24.
 - b) 1,80.
 - c) 1,92.
 - d) 12,48.
 - e) 14,40.
- 14.** (UFJF-PISM 3 – 2023) Para proteger um sistema elétrico de sobrecargas na rede, foi inserido um fusível na entrada de alimentação. Sabendo que a tensão de operação do sistema é de 110 V e fazendo um circuito equivalente, determina-se que a resistência total é de 55 ohms. Calcule a corrente máxima que o fusível deve suportar e a potência elétrica máxima que o equipamento dissipa.
- a) 1 A e 110 W
 - b) 1,5 A e 165 W
 - c) 2 A e 220 W
 - d) 1 A e 165 W
 - e) 2 A e 165 W

- 15.** (Enem – 2016) Três lâmpadas idênticas foram ligadas no circuito esquematizado. A bateria apresenta resistência interna desprezível, e os fios possuem resistência nula. Um técnico fez uma análise do circuito para prever a corrente elétrica nos pontos: A, B, C, D e E; e rotulou essas correntes de I_A , I_B , I_C , I_D e I_E , respectivamente. O técnico concluiu que as correntes que apresentam o mesmo valor são:



- a) $I_A = I_E$ e $I_C = I_D$.
- b) $I_A = I_B = I_E$ e $I_C = I_D$.
- c) $I_A = I_B$, apenas.
- d) $I_A = I_B = I_E$, apenas.
- e) $I_C = I_D$, apenas.

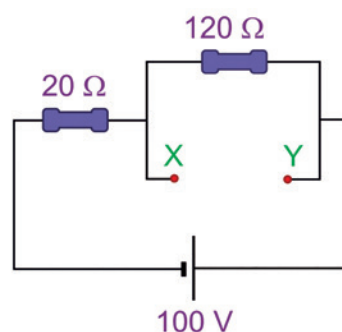
- 16.** (Unisc – 2023) Tem-se um circuito elétrico composto de uma fonte de tensão e 3 lâmpadas iguais (L_1 , L_2 e L_3), ligadas nesse circuito como apresentado na figura.



UNISC, 2023

Sabendo-se que a fonte fornece uma tensão constante e que todas as lâmpadas acendem quando a fonte está ligada, assinale a alternativa que apresenta a afirmação correta sobre este caso.

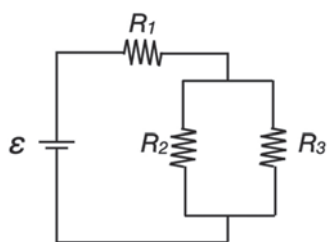
- a) Quando a fonte de tensão está ligada, todas as lâmpadas acendem porque a corrente elétrica que percorre cada uma é a mesma.
 - b) Quando a fonte de tensão está ligada, todas as lâmpadas acendem porque a tensão que percorre cada uma é a mesma.
 - c) A tensão nas lâmpadas L_2 e L_3 é a mesma e é a metade da tensão na lâmpada L_1 .
 - d) A corrente elétrica nas lâmpadas L_2 e L_3 é a mesma e é o dobro da corrente elétrica que percorre a lâmpada L_1 .
 - e) A corrente elétrica que percorre L_1 é o triplo da que percorre as outras duas lâmpadas.
- 17.** (Famema – 2023) Um circuito construído com elementos ideais possibilita a conexão de um resistor entre os pontos X e Y.



FAMEMA, 2023

Deseja-se que a intensidade da corrente elétrica que passa pelo resistor de 20Ω seja de 2 A. Para que isso ocorra, entre os pontos X e Y deve ser conectado um resistor de

- a) 16Ω .
 - b) 24Ω .
 - c) 18Ω .
 - d) 36Ω .
 - e) 40Ω .
- 18.** (PUC-RJ – 2023) Um circuito elétrico é armado com uma fonte e três resistores com resistências $R_1 = 1,0 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2,0 \text{ k}\Omega$ e $R_3 = 4,0 \text{ k}\Omega$, como mostrado na figura.

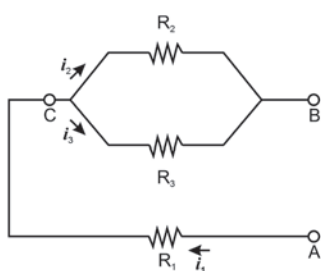


PUC - Rio, 2023

Sabendo que a corrente que passa por R_3 é 2,0 mA, qual é, em volts, a voltagem da fonte?

- a) 8
- b) 12
- c) 14
- d) 16
- e) 18

19. (UEL – 2023) A figura a seguir representa a associação de três resistores.



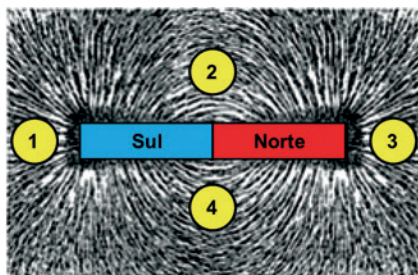
UEL, 2023

Considerando que, entre os terminais A e B dessa associação, a tensão é de 220 V, $R_1 = 19 \Omega$, $R_2 = 30 \Omega$ e $R_3 = 70 \Omega$, responda aos itens a seguir.

- a) Qual é o valor da intensidade da corrente i_1 ?
- b) Qual é o valor da intensidade da corrente i_2 ?

Justifique sua resposta apresentando os argumentos e os cálculos realizados na resolução de todos os itens desta questão.

20. (Unesp – 2016) Um ímã em forma de barra, com seus polos Norte e Sul, é colocado sob uma superfície coberta com partículas de limalha de ferro, fazendo com que elas se alinhem segundo seu campo magnético. Se quatro pequenas bússolas, 1, 2, 3 e 4, forem colocadas em repouso nas posições indicadas na figura, no mesmo plano que contém a limalha, suas agulhas magnéticas orientam-se segundo as linhas do campo magnético criado pelo ímã.



UNESP, 2016

Desconsiderando o campo magnético terrestre e considerando que a agulha magnética de cada bússola seja representada por uma seta que se orienta na mesma direção e no mesmo sentido do vetor campo magnético associado ao ponto em que ela foi colocada, assinale a alternativa que indica, correta e respectivamente, as configurações das agulhas das bússolas 1, 2, 3 e 4 na situação descrita.

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

UNESP, 2016

UNESP, 2016

UNESP, 2016

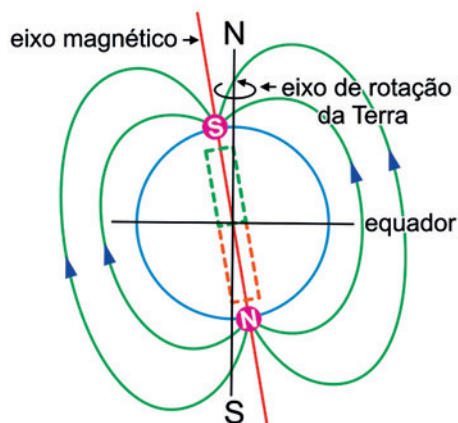
UNESP, 2016

UNESP, 2016

21. (Unesp – 2019) A configuração do campo magnético terrestre causa um efeito chamado inclinação magnética. Devido a esse fato, a agulha magnética de uma bússola próxima à superfície terrestre, se estiver livre, não se mantém na horizontal, mas geralmente inclinada em relação à horizontal (ângulo α , na figura 2). A inclinação magnética é mais acentuada em regiões de maiores latitudes. Assim, no equador terrestre a inclinação magnética que fica em torno de 0° nos polos magnéticos é de 90° em São Paulo e de cerca de 20° com o polo norte da bússola apontado para cima, e em Londres é de cerca de 70° com o polo norte da bússola apontado para baixo.

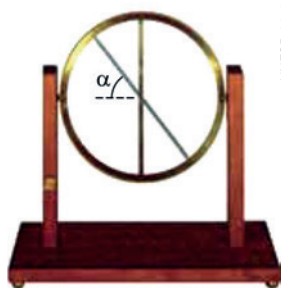
Figura 1

O campo magnético terrestre



UNESP, 2019

Figura 2
Bússola para medição da
inclinação magnética



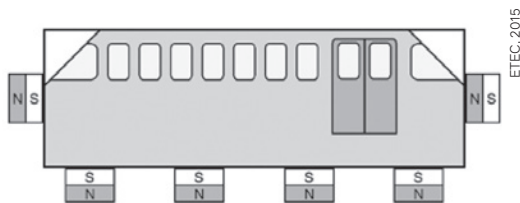
UNESP, 2019

Esse efeito deve-se ao fato de a agulha magnética da bússola alinhar-se sempre na direção

- perpendicular às linhas de indução do campo magnético da Terra e ao fato de o polo norte magnético terrestre estar próximo ao polo sul geográfico da Terra.
- tangente à Linha do Equador e ao fato de o eixo de rotação da Terra coincidir com o eixo magnético que atravessa a Terra.
- tangente às linhas de indução do campo magnético da Terra e ao fato de o polo norte magnético terrestre estar próximo ao polo norte geográfico da Terra.
- tangente às linhas de indução do campo magnético da Terra e ao fato de o polo norte magnético terrestre estar próximo ao polo sul geográfico da Terra.
- paralela ao eixo magnético terrestre e ao fato de o polo sul magnético terrestre estar próximo ao polo norte geográfico da Terra.

22. (Etec – 2015) O Maglev é uma espécie de trem sem rodas que possui eletroímãs em sua base, e há também eletroímãs no trilho que ele percorre. As polaridades desses eletroímãs são controladas por computador, e esse controle permite que o trem levite sobre o trilho bem como seja movido para frente ou para trás.

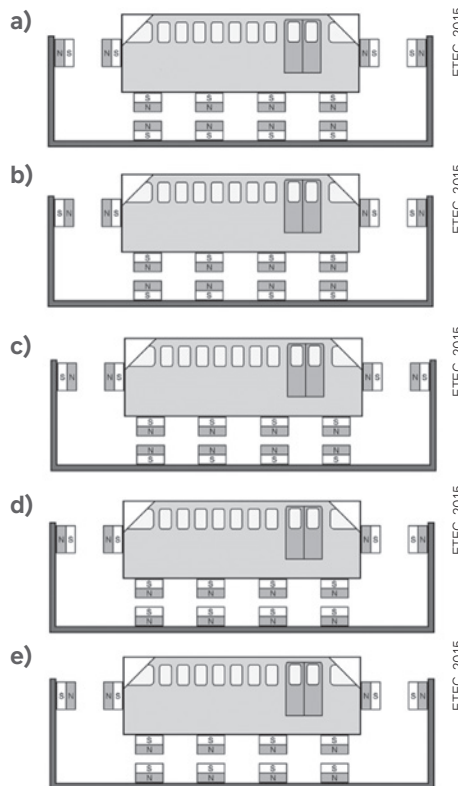
Para demonstrar o princípio do funcionamento do Maglev, um estudante desenhou um vagão de trem em uma caixa de creme dental e colou em posições especiais ímãs permanentes, conforme a figura.



ETEC, 2015

O vagão foi colocado inicialmente em repouso e no meio de uma caixa de papelão de comprimento maior, porém de largura muito próxima à da caixa de creme dental. Na caixa de papelão também foram colados ímãs permanentes idênticos aos do vagão. Admitindo-se que não haja atrito entre as laterais da

caixa de creme dental, em que se desenhou o vagão, e a caixa de papelão, para se obter o efeito de levitação e ainda um pequeno movimento horizontal do vagão sempre para a esquerda, em relação à figura desenhada, a disposição dos ímãs permanentes, no interior da caixa de papelão, deve ser a que se encontra representada em:



ETEC, 2015

ETEC, 2015

ETEC, 2015

ETEC, 2015

ETEC, 2015

23. (Uniceub – 2021) A figura 1 mostra um ímã cujo polo norte está representado pela cor vermelha e o polo sul está representado pela cor azul.

Este ímã é partido ao longo de seu comprimento conforme a linha verde, obtendo-se dois pedaços, como mostra a Figura 2.

Figura 1



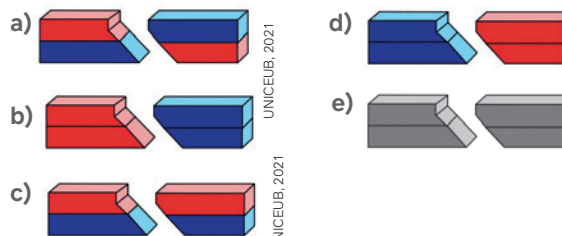
UNICEUB, 2021

Utilizando a mesma representação de cores para os pólos e a cor cinza para ausência de magnetismo, após o rompimento do ímã, o magnetismo dos pedaços obtidos corresponde ao desenhado em

Figura 2



UNICEUB, 2021



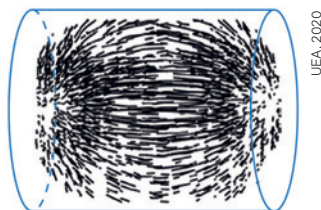
UNICEUB, 2021

UNICEUB, 2021

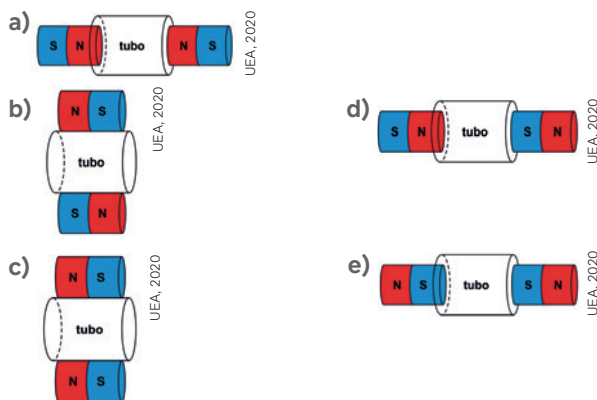
UNICEUB, 2021

UNICEUB, 2021

24. (UEA – 2020) Uma forma de se observar a configuração das linhas de campo magnético geradas por um ímã é aproximá-lo de uma quantidade razoável de limalha de ferro. Com o intuito de fazer uma demonstração a seus alunos, uma professora de Física coloca, no interior de um tubo transparente cilíndrico fechado, certa quantidade de limalha de ferro e aproxima dois ímãs, também cilíndricos, da região exterior do tubo. A imagem mostra como ficou configurada a limalha no interior do tubo.



O possível posicionamento dos dois ímãs pela professora foi:



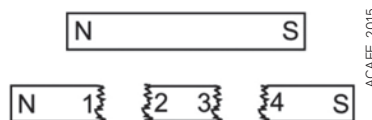
25. (Enem – 2020) Os ventos solares são fenômenos caracterizados por feixes de partículas carregadas, lançadas pelo Sol, no espaço, em alta velocidade. Somente uma pequena fração dessas partículas atinge a atmosfera nos polos, provocando as auroras. A chegada dessas partículas à superfície pode gerar efeitos indesejáveis, interferindo nas telecomunicações, no tráfego aéreo e nas linhas de transmissão de energia elétrica. Esses efeitos são minimizados na Terra pela ação de seu(sua)
- ionosfera.
 - campo geomagnético.
 - camada de ozônio.
 - campo gravitacional.
 - atmosfera.
26. (EAM – 2016) As bússolas, instrumentos de orientação cuja invenção é atribuída à China do século I a.C., são utilizadas até hoje em diversas situações. Sobre as bússolas, é correto afirmar que
- apontam sempre na direção exata do polo norte geográfico da Terra.

- se alinham seguindo as linhas de indução do campo magnético da Terra.
- por serem imantadas, não podem sofrer influência de correntes elétricas.
- mesmo próximas de um ímã, continuam apontando para o polo norte geográfico da Terra.
- permitem uma navegação segura, pois indicam exatamente a direção que se quer seguir.

27. (Urca – 2016) Um campo magnético é usualmente provocado por correntes elétricas ou cargas em movimento organizado. Podemos afirmar que:

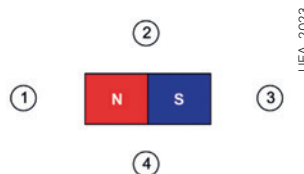
- O campo magnético de um ímã natural é provocado por uma corrente elétrica no sentido clássico pois, para funcionar, o ímã deve ser ligado a uma tomada de energia elétrica.
- O campo magnético de um ímã natural é provocado por uma força misteriosa de natureza até hoje desconhecida.
- O campo magnético de um ímã natural, embora se manifeste macroscopicamente, advém principalmente do alinhamento dos chamados momentos magnéticos orbitais dos átomos e contribuições do momento magnético dos spins atômicos, que são propriedades quânticas descobertas somente por volta da década de 1920.
- O campo magnético de um ímã é uma força newtoniana gravitacional.
- O campo magnético de um ímã é um campo gravitacional.

28. (ACAFE – 2015) Numa brincadeira de criança um ímã é quebrado em três partes, conforme a figura abaixo.

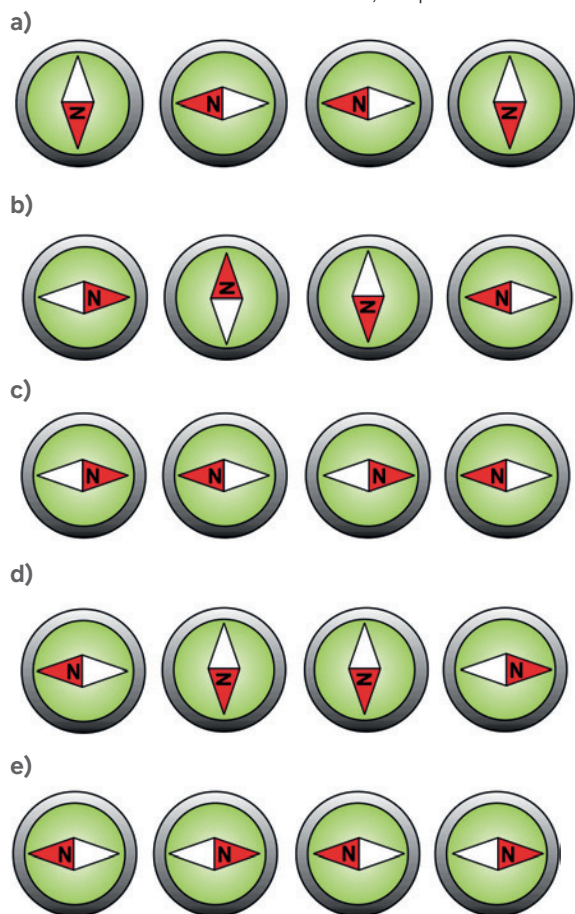


Assinale a alternativa correta que indica a nova situação das extremidades.

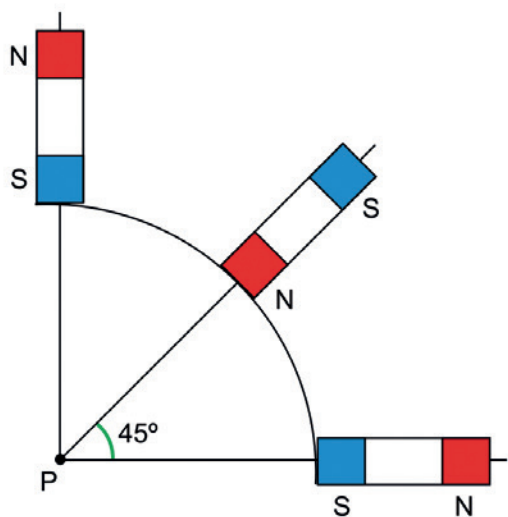
- 1 e 3 repelem-se.
 - 2 é polo sul e 3 o polo norte.
 - 1 e 4 repelem-se.
 - 2 e 3 não formam polos.
29. (UEA – 2023) Uma criança está brincando com uma bússola e um ímã, em formato de barra, em um local onde o campo magnético da Terra é desprezível. A imagem representa somente o ímã, com o qual a criança brinca.



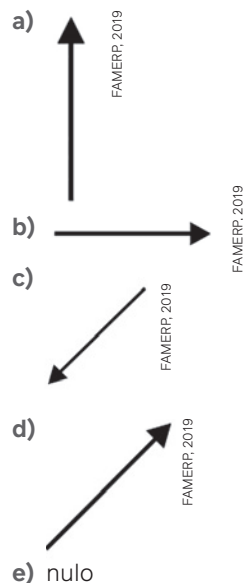
Colocando a bússola nas posições simétricas ao ímã, 1, 2, 3 e 4, nesta ordem, as indicações que esse instrumento deverá fornecer são, respectivamente:



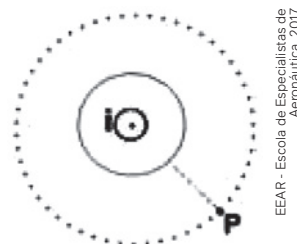
30. (FAMERP - 2019) Três ímãs idênticos, em forma de barra, estão dispostos com uma de suas extremidades equidistantes de um ponto P, como mostra a figura.



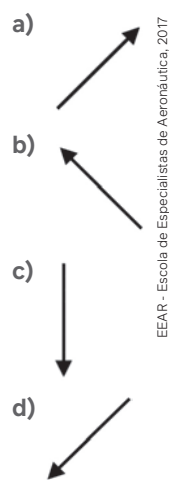
O campo de indução magnética resultante da ação dos três ímãs no ponto P é representado pelo vetor



31. (EEAR - 2017) Um fio condutor é percorrido por uma corrente como mostra a figura.

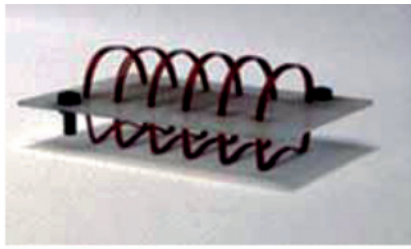


Próximo ao condutor existe um ponto P também representado na figura. A opção que melhor representa o vetor campo magnético no ponto P é?

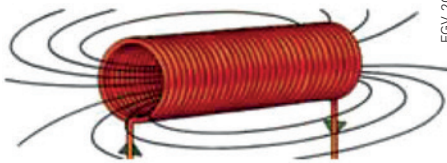


32. (FGV - 2017) As figuras representam dois exemplos de solenoides, dispositivos que consistem em um fio condutor enrolado. Tal enrolamento pode se dar em torno de um núcleo feito de algum material ou, simplesmente, no ar. Cada volta de fio é denominada espira.

A passagem de uma corrente elétrica através desse fio cria, no interior do solenoide, um campo magnético cuja intensidade

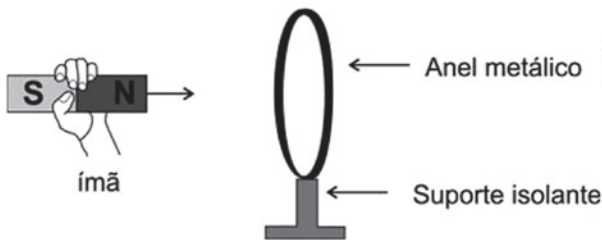


FGV, 2017



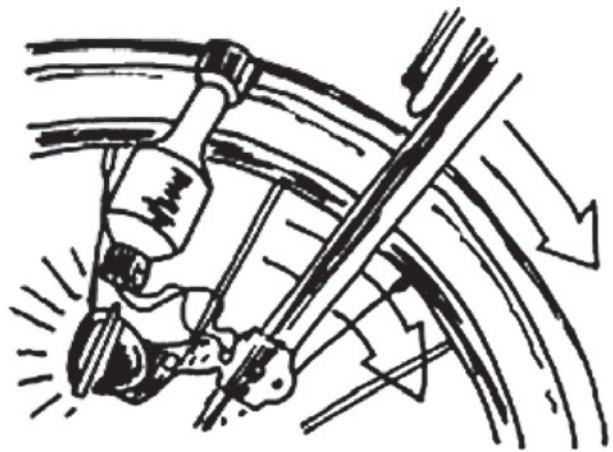
FGV, 2017

- a) é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade da corrente elétrica e ao comprimento do solenoide.
 - b) é diretamente proporcional à densidade das espiras, ou seja, ao número de espiras por unidade de comprimento.
 - c) é diretamente proporcional ao número total de espiras do solenoide e ao seu comprimento.
 - d) independe da distância entre as espiras, mas depende do material de que é feito o núcleo.
 - e) é a maior possível quando o material componente do núcleo é diamagnético ou paramagnético.
33. (Fuvest – 2010) Aproxima-se um ímã de um anel metálico fixo em um suporte isolante, como mostra a figura. O movimento do ímã, em direção ao anel,



FUVEST, 2010

- a) não causa efeitos no anel.
 - b) produz corrente alternada no anel.
 - c) faz com que o polo sul do ímã vire polo norte e vice-versa.
 - d) produz corrente elétrica no anel, causando uma força de atração entre anel e ímã.
 - e) produz corrente elétrica no anel, causando uma força de repulsão entre anel e ímã.
34. (Enem – 2010) Os dínamos são geradores de energia elétrica utilizados em bicicletas para acender uma pequena lâmpada. Para isso, é necessário que a parte móvel esteja em contato com o pneu da bicicleta e, quando ela entra em movimento, é gerada energia elétrica para acender a lâmpada. Dentro desse gerador, encontram-se um ímã e uma bobina.



ENEM, 2010

O princípio de funcionamento desse equipamento é explicado pelo fato de que a

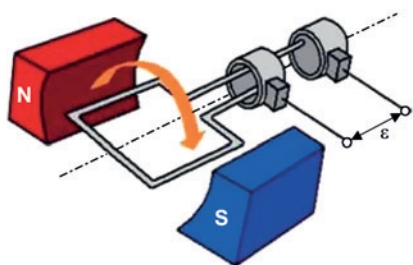
- a) corrente elétrica no circuito fechado gera um campo magnético nessa região.
 - b) bobina imersa no campo magnético em circuito fechado gera uma corrente elétrica.
 - c) bobina em atrito com o campo magnético no circuito fechado gera uma corrente elétrica.
 - d) corrente elétrica é gerada em circuito fechado por causa da presença do campo magnético.
 - e) corrente elétrica é gerada em circuito fechado quando há variação do campo magnético.
35. (Enem – 2011) O manual de funcionamento de um captador de guitarra elétrica apresenta o seguinte texto:
- Esse captador comum consiste de uma bobina, fios condutores enrolados em torno de um ímã permanente. O campo magnético do ímã induz o ordenamento dos polos magnéticos na corda da guitarra, que está próxima a ele. Assim, quando a corda é tocada, as oscilações produzem variações, com o mesmo padrão, no fluxo magnético que atravessa a bobina. Isso induz uma corrente elétrica na bobina, que é transmitida até o amplificador e, daí, para o alto-falante.
- Um guitarrista trocou as cordas originais de sua guitarra, que eram feitas de aço, por outras feitas de náilon. Com o uso dessas cordas, o amplificador ligado ao instrumento não emitia mais som, porque a corda de náilon
- a) isola a passagem de corrente elétrica da bobina para o alto-falante.
 - b) varia seu comprimento mais intensamente do que ocorre com o aço.
 - c) apresenta uma magnetização desprezível sob a ação do ímã permanente.
 - d) induz correntes elétricas na bobina mais intensas que a capacidade do captador.
 - e) oscila com uma frequência menor do que a que pode ser percebida pelo captador.

36. (Enem – 2020) Em uma usina geradora de energia elétrica, seja através de uma queda-d'água ou através de vapor sob pressão, as pás do gerador são postas a girar. O movimento relativo de um ímã em relação a um conjunto de bobinas produz um fluxo magnético variável através delas, gerando uma diferença de potencial em seus terminais. Durante o funcionamento de um dos geradores, o operador da usina percebeu que houve um aumento inesperado da diferença de potencial elétrico nos terminais das bobinas.

Nessa situação, o aumento do módulo da diferença de potencial obtida nos terminais das bobinas resulta do aumento do(a)

- intervalo de tempo em que as bobinas ficam imersas no campo magnético externo, por meio de uma diminuição de velocidade no eixo de rotação do gerador.
- fluxo magnético através das bobinas, por meio de um aumento em sua área interna exposta ao campo magnético aplicado.
- intensidade do campo magnético no qual as bobinas estão imersas, por meio de aplicação de campos magnéticos mais intensos.
- rapidez com que o fluxo magnético varia através das bobinas, por meio de um aumento em sua velocidade angular.
- resistência interna do condutor que constitui as bobinas, por meio de um aumento na espessura dos terminais.

37. (FCMSCSP-Santa Casa Medicina – 2024) Grande parte da produção de energia elétrica no Brasil ocorre em usinas que utilizam processos baseados no fenômeno da indução eletromagnética. Muito simplificado, esses processos assemelham-se ao procedimento de girar uma espira condutora no interior de um campo magnético produzido por um ímã permanente, como mostrado na figura.



FCMSCSP-Santa Casa Medicina, 2024

Em uma montagem como a da figura, produz-se uma força eletromotriz induzida ϵ porque, durante a rotação da espira, ocorre

- inversão periódica no sentido dessa rotação.
- variação periódica do fluxo magnético através da espira.
- variação periódica do campo magnético produzido pelo ímã.

- variação periódica da resistência elétrica da espira.
- inversão periódica dos polos do ímã.

38. (Enem – 2023) O fogão por indução funciona a partir do surgimento de uma corrente elétrica induzida no fundo da panela, com conseqüente transformação de energia elétrica em calor por efeito Joule. A principal vantagem desses fogões é a eficiência energética, que é substancialmente maior que a dos fogões convencionais.

A corrente elétrica mencionada é induzida por

- radiação.
- condução.
- campo elétrico variável.
- campo magnético variável.
- ressonância eletromagnética.

39. (PUC-GO – 2023) Um solenoide é um conjunto de circuitos fechados próximos uns dos outros, que fornece um campo magnético uniforme e pode ser obtido enrolando-se um fio sob a forma de bobina. Se você deseja criar um campo magnético uniforme com 1,0 T e possui um solenoide de 800 voltas por centímetro, que intensidade de corrente elétrica deve percorrer esse dispositivo.

Dados: considere $\pi = 3$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$.

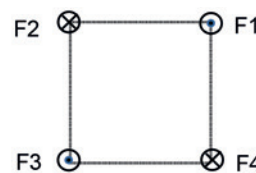
Marque a única alternativa correta:

- 13,2 A.
- 5,2 A.
- 8,6 A.
- 10,4 A.

40. (EspCEEx – 2022) Quatro fios condutores retilíneos, muito longos e paralelos, F1, F2, F3 e F4, são dispostos no espaço de modo que as suas seções transversais estão nos vértices de um quadrado de lado L, conforme representado no desenho abaixo. Os fios F1, F2, F3 e F4 são percorridos, respectivamente, pelas correntes i , i , $5i$ e $2i$, com as direções e sentidos indicados no desenho. Considerando que a permeabilidade magnética do meio é μ , podemos afirmar que o módulo do campo magnético resultante no centro do quadrado é:

Convenção:

- corrente perpendicular ao plano do papel e saindo dele \odot
- corrente perpendicular ao plano do papel e entrando nele \otimes



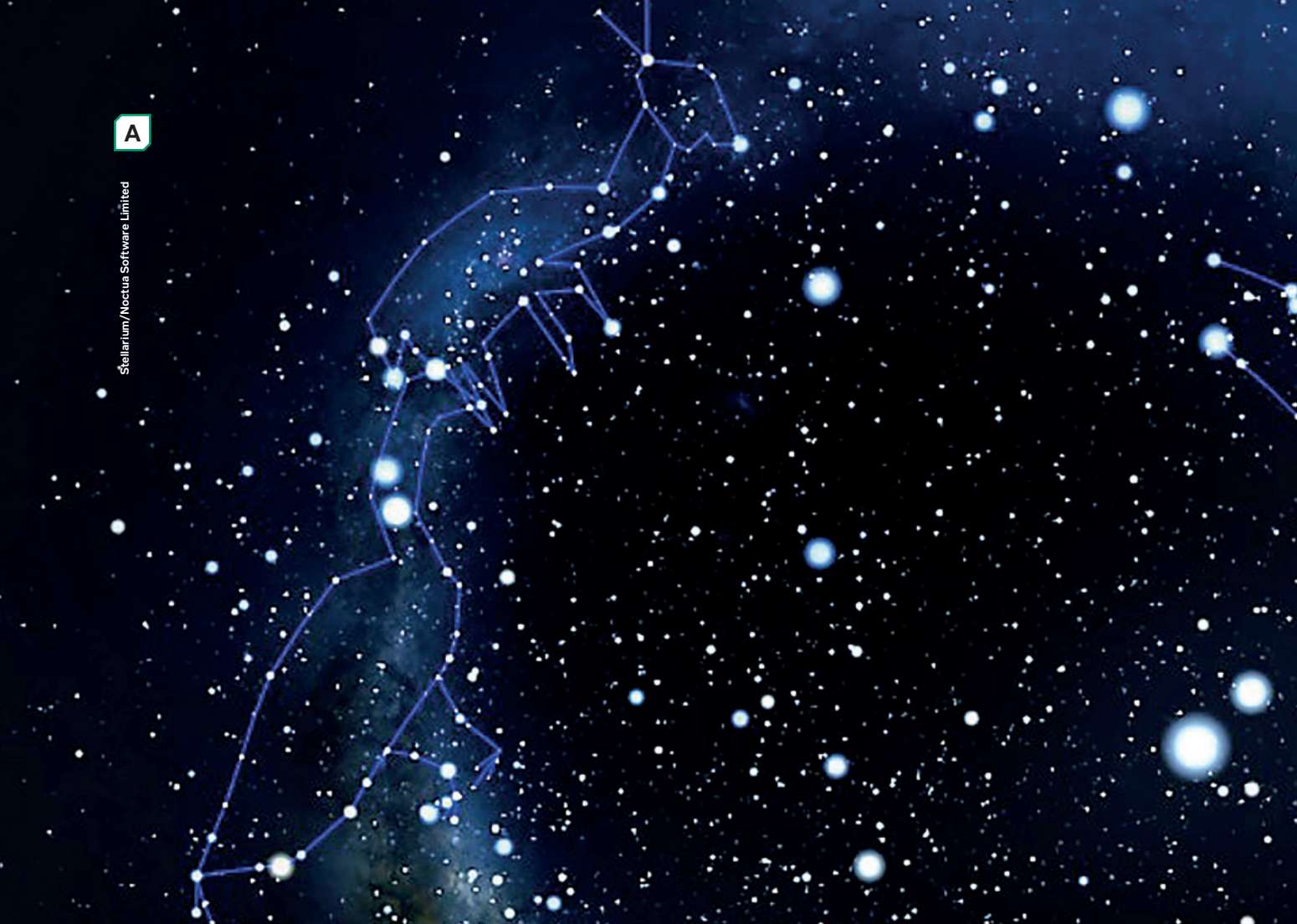
Desenho Ilustrativo.
Fora de Escala.

- $\mu \cdot i \cdot \sqrt{83} / (2\pi L)$
- $\mu \cdot i \cdot \sqrt{82} / (2\pi L)$
- $\mu \cdot i \cdot \sqrt{43} / (2\pi L)$
- $\mu \cdot i \cdot \sqrt{35} / (2\pi L)$
- $\mu \cdot i \cdot \sqrt{34} / (2\pi L)$

EspCEEx, 2022

A

Stellarium/Noctua Software Limited



Alan Pedro/Folhapress

B

(A) Na cultura greco-romana, as constelações eram associadas a imagens de animais e a seres mitológicos. Na América do Sul, temos algo semelhante na cultura dos povos indígenas, como os de etnia tupi-guarani. Na imagem, vemos as constelações de Ema, Veado, Homem Velho e Anta do Norte, que são inerentes à essa cultura. (B) O Observatório Solar Indígena dos tupi-guarani utiliza uma rocha vertical para determinar os pontos cardeais e as estações do ano.

Consulte no Manual do Professor as orientações, as respostas e os comentários sobre as atividades e os conteúdos desta unidade e seus capítulos.

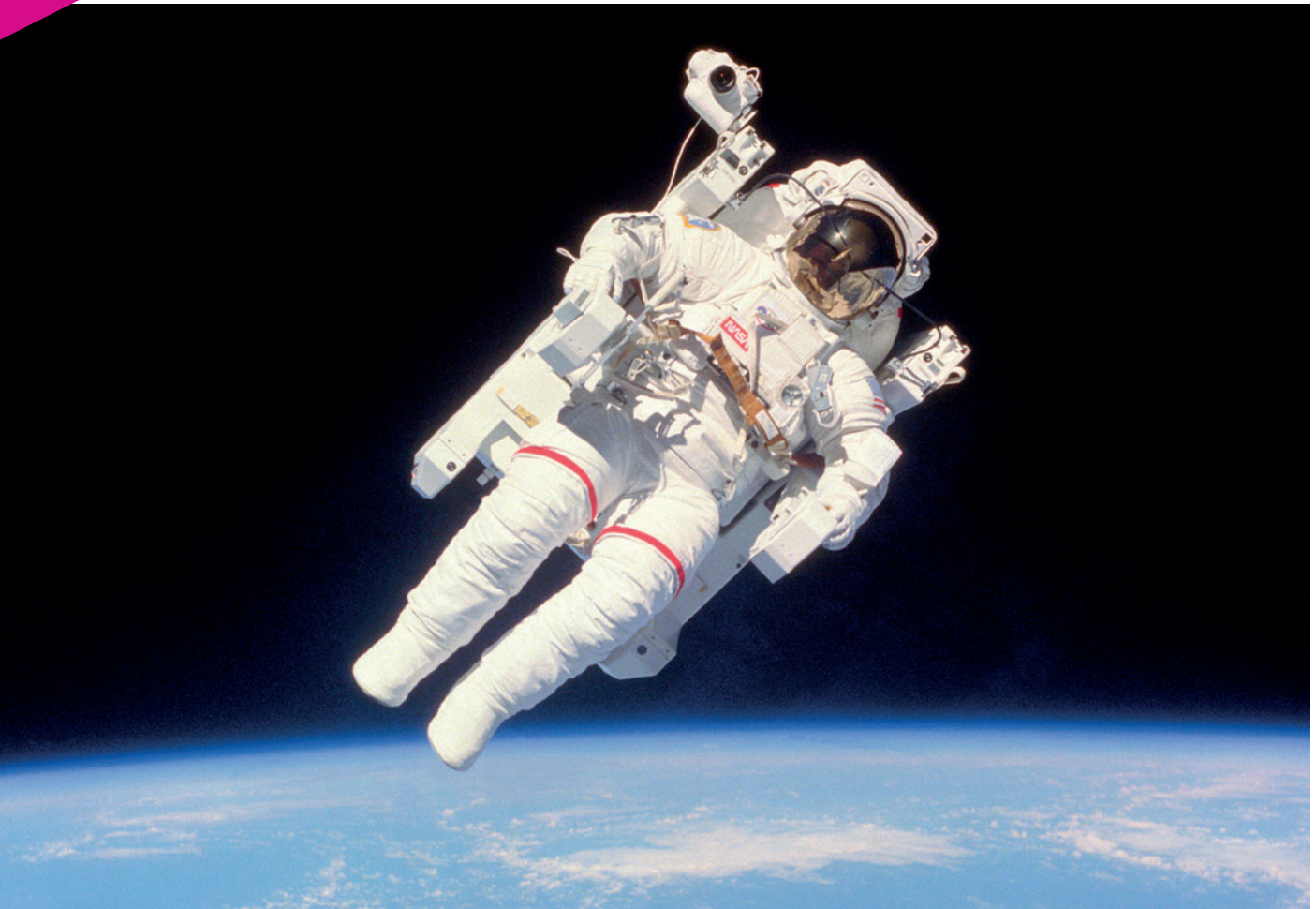
Evolução e funcionamento do Universo

O fascínio pelo céu é uma constante na história humana. Desde os povos antigos, os astros têm sido fonte de inspiração e de conhecimento. Nos dias atuais, centros de pesquisa desenvolvem estudos para o aprofundamento do entendimento acerca da dinâmica do Sistema Solar e do Universo e, para isso, é necessário investimento financeiro e outros recursos, sejam eles de fontes públicas ou privadas. Isso mostra que o interesse do ser humano sobre o céu e o funcionamento do espaço persiste e é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias que, em sua maioria, são disponibilizadas para a sociedade.

O estudo a respeito do Universo é uma área multidisciplinar que requer conhecimentos avançados em Física, Matemática, Astronomia, Astrofísica, Cosmologia, entre outras áreas da Ciência. Além disso, a necessidade da alta capacidade computacional tem se tornado, cada vez mais, uma limitação, uma vez que os dados coletados pelos telescópios e os modelos matemáticos são complexos e requerem processamento de alta potência. Assim, destaca-se que os conhecimentos astrofísicos e cosmológicos estão em constante evolução. Nesta unidade, exploraremos conceitos fundamentais dessas ciências e seus impactos na sociedade.

▼ Para começar

1. Os diferentes astros celestes estão localizados a enormes distâncias em relação à Terra. Mesmo assim, é importante conhecermos sobre eles, bem como o Universo como um todo. Quais são as razões para isso?
2. O que provoca as mudanças das marés e como o conhecimento da Física nos ajuda a compreendê-las?
3. Astronomia e Astrologia são a mesma coisa?
4. Qual é a relação entre a gravidade e a formação dos planetas?



NASA

O astronauta estadunidense Bruce McCandles (1937-2017) se tornou mundialmente famoso em 1984, após ser fotografado no espaço sem qualquer conexão com sua nave. Seu traje possuía propulsores que auxiliavam seu movimento de retorno à nave. No espaço, um astronauta parece flutuar – como na imagem – porque ele, junto com a nave, está em queda livre em torno da Terra. Esse movimento ocorre na chamada velocidade orbital, onde o astronauta não é lento o suficiente para cair na Terra nem rápido o suficiente para escapar de sua órbita.

▼ Para refletir

1. Por que astronautas parecem flutuar quando estão em órbita ao redor da Terra?
2. Quais são as implicações positivas e negativas da conquista do espaço feita pelo ser humano?

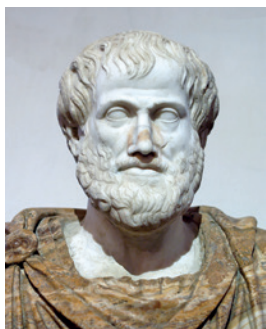
Objetivos da unidade

- Conhecer as leis da gravitação universal.
- Analisar situações astronômicas.
- Problematizar a questão do lixo espacial.
- Avaliar fontes adequadas de informação.
- Argumentar com base em fatos a respeito do formato do planeta.

Movimentos circulares e rotações

Um dos fenômenos mais presentes no cotidiano é a ação da gravidade. Ao longo da história, diferentes modelos foram utilizados para explicar as razões pelas quais os corpos caem, com destaque especial à proposta de Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), que acreditava que todos os corpos se movem em direção ao seu lugar natural. Para corpos pesados, como pedras e metais, seu lugar natural era o centro da Terra e, por esta razão, eles cairiam em direção ao solo. Já os corpos leves, como penas e folhas, teriam o seu lugar natural nas esferas celestes e, por isso, subiriam no ar. Foi a partir dos trabalhos de Isaac Newton (1643-1727) que um novo entendimento acerca da gravidade passou a ser adotado, sendo utilizado também para explicar as órbitas dos planetas. Séculos depois, Albert Einstein (1879-1955) propôs outro modelo para elucidar a gravidade, abrangendo fenômenos que o anterior não contemplava.

A ciência é uma construção humana em constante evolução e que se adapta conforme novos conhecimentos surgem. Sua base na lógica, mesmo que limitada, ajuda a compreender o mundo, mas não oferece certezas. Nas ciências que estudam o Universo, essa evolução é acelerada devido à complexidade dinâmica do cosmos, resultando em revisões frequentes de nossas explicações. Apesar das mudanças, alguns modelos científicos antigos ainda explicam eventos cotidianos, pois são fundamentados em observações empíricas válidas.



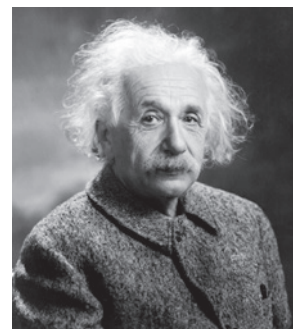
Museu Nacional Romano do Palácio Altemps, Roma. Fotografia: Jastrow/Wikimedia.org

Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.).



Instituto Isaac Newton, Universidade de Cambridge, Reino Unido

Isaac Newton (1643-1727).



Biblioteca do Congresso, Washington

Albert Einstein (1879-1955).

Saiba mais

Hipátia

Hipátia (c. 355-415) foi uma notável matemática, astrônoma e filósofa grega, que se destacou por seus comentários e ensinamentos sobre as obras de matemáticos e astrônomos como Ptolomeu e Diofanto. Ela revisou e aprimorou o 'Almagesto' de Ptolomeu, e o resultado desse esforço influenciou significativamente a astronomia medieval e renascentista. Seus trabalhos e ensino sobre as seções cônicas foram fundamentais para a posterior compreensão dos movimentos planetários, que desempenharam um papel crucial na formulação das leis de Kepler na astronomia e na subsequente revolução científica. A pensadora também contribuiu para a matemática ao comentar e disseminar o 'Arithmetica' de Diofanto, obra que estabeleceu fundamentos importantes para a álgebra moderna.



Jules Maurice Gaspard/Gutenberg.org

Hipátia de Alexandria.

Cinemática das rotações

O estudo de órbitas envolve diferentes movimentos, nos quais os ângulos envolvidos variam. Para compreendê-los, é necessário conhecer a cinemática dos movimentos de rotação.

Velocidade angular (ω)

Do mesmo modo que a velocidade indica a taxa de variação do espaço em relação ao tempo, a velocidade angular também indica uma taxa de variação. Contudo, para estudar uma rotação, considera-se a variação do ângulo e não do espaço. Por isso, uma velocidade angular indica uma relação entre ângulo e tempo, ilustrada pela seguinte fórmula:

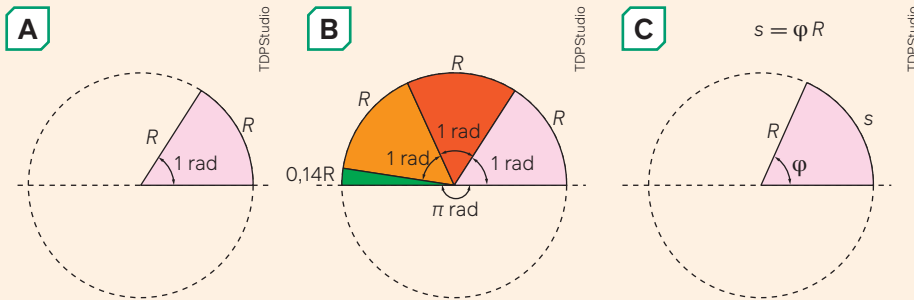
$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

Embora a velocidade angular (ω) possa ser medida em graus por segundo ($^\circ/\text{s}$), é interessante utilizarmos sua medida em radianos por segundo (rad/s), isso porque a medida de ângulos em radianos é diretamente proporcional ao raio de curvatura da curva avaliada.

O que significa 1 radiano?

É a medida do ângulo central de uma circunferência que determina um arco com o mesmo comprimento que o raio dessa circunferência.

Por isso, uma relação entre raio (R), arco (s) e ângulo (φ) é estabelecida pela fórmula: $s = \varphi \cdot R$, desde que o ângulo (φ) seja dado em radianos. Note, na figura a seguir, que meia-volta corresponde a um arco de aproximadamente 3,14 raios, ou seja, um ângulo de aproximadamente 3,14 radianos, ou exatamente π radianos.



(A) o ângulo de 1 radiano e sua relação com o arco de medida igual ao raio; (B) indicativo de que uma volta completa corresponde ao ângulo de π radianos; (C) uma relação genérica para qualquer valor de arco (s), ângulo (φ) e raio (R).

Velocidade angular (ω), período (T) e frequência (f)

Em Física, definimos **período** como o tempo necessário para que um corpo em movimento circular complete um ciclo inteiro. O período é o inverso da **frequência**, que é o número de ciclos completos que um corpo executa em um intervalo de tempo.

No movimento circular uniforme (MCU), um ciclo inteiro corresponde a uma volta completa, então o ângulo de uma volta completa é 2π radianos ou 360° . Com isso, temos:

$$\frac{1}{T} = f$$

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

Logo, há uma relação direta entre a velocidade angular, dada em radianos por segundo, e a frequência, dada em hertz. A **frequência** é uma grandeza física comumente utilizada na descrição do movimento de rotação de objetos cotidianos, como no movimento das rodas de uma bicicleta, no funcionamento de parte dos motores de eletrodomésticos ou carros. No entanto, para descrever a rotação de objetos celestes, como planetas, utiliza-se o **período**. Isso ocorre porque as frequências de rotação planetária são muito baixas, inferiores a 1 hertz. Ressaltamos que, independentemente da unidade de medida utilizada, o conceito de frequência é o mesmo. É possível avaliarmos movimentos de rotação pelo deslocamento angular que, variando no tempo, nos fornece uma velocidade angular.

Relação entre velocidade angular (ω) e velocidade tangencial (v_t)

Em trajetórias curvas, temos corpos mudando sua velocidade tangencial de direção. Mas, cada vez que a velocidade muda de direção, o ângulo referente a sua posição também muda. Isso significa que a velocidade angular e a velocidade escalar estão conectadas. Sabemos que o arco, o ângulo (em radianos) e o raio estão relacionados matematicamente. Portanto, a velocidade angular e a velocidade escalar estão, também, relacionadas da seguinte maneira:

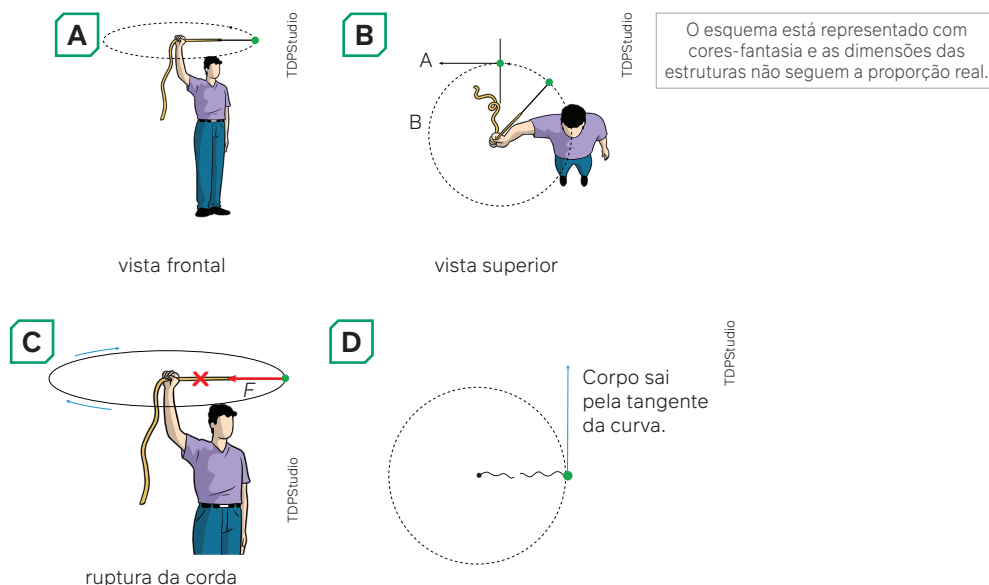
$$s = \varphi R \quad \left| \quad \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} R \right.$$

$$\Delta s = \Delta \varphi R \quad \left| \quad V = \omega R \right.$$

Para que essa relação seja válida, é necessário que a velocidade angular (ω) seja dada em radianos por alguma unidade de tempo.

Forças resultantes centrípetas

A aceleração é a grandeza física que caracteriza uma mudança na velocidade. Mas o que acontece quando a velocidade muda de direção e não de valor? Isso também é uma aceleração. Essa aceleração responsável por mudanças na direção da velocidade é o que denominamos **aceleração centrípeta**. Consideremos um caso de uma pessoa girando um corpo preso a uma corda.



(A) Pessoa girando um corpo preso a uma corda vista de frente; (B) e vista de cima, (C) com instante de ruptura da corda; (D) e representação da trajetória seguida pelo corpo após a ruptura.

Na imagem, vemos um corpo em movimento circular uniforme sendo puxado por uma corda. A **força de tração** é uma força que atua ao longo da linha de ação de um fio ou corda, puxando os dois corpos unidos pelo fio ou corda em sentidos opostos.

No corpo que estiver girando em movimento circular uniforme (MCU), ou seja, em trajetória de raio constante e com velocidades angular e tangencial também constantes, haverá sempre uma força dirigida ao centro da trajetória (por isso chamada de centrípeta).

Caso a corda se rompa, o corpo segue pela tangente da curva. Isso evidencia o papel da força centrípeta, que é o de manter a trajetória curva. A segunda lei de Newton indica que a **força resultante** é o produto da massa do corpo pela aceleração dele.

Então, em trajetórias curvas, a presença de uma força centrípeta implica uma aceleração também centrípeta. No caso da imagem, quem faz o papel de resultante centrípeta é a força de tração. Em outros casos, diferentes forças podem cumprir esse papel de resultante centrípeta.

A

Cálculo da aceleração centrípeta

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

$$\frac{v^2}{R} = \frac{(\omega R)^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 R$$

$$a_c = \omega^2 R$$

B

C

2ª lei de Newton

$$F_R = ma$$

$$F_{R_c} = ma_c$$

$$F_{R_c} = m \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

(A) duas formas de cálculo de aceleração centrípeta com uso da velocidade tangencial (v) e com uso da velocidade angular (ω); (B) representação dos vetores velocidade tangencial, força centrípeta e aceleração centrípeta; (C) uso da segunda lei de Newton para forças centrípeta.

Acima, estão representadas as formas de cálculo de aceleração centrípeta e o uso da segunda lei de Newton em situações de trajetórias curvilíneas. Isso significa que continuam válidas as relações já aprendidas em mecânica clássica, contudo, agora, com condição de aplicação dessas relações em situações que envolvam curvas.

Atividades comentadas

1. Observe o esquema a seguir, ele mostra um carro executando uma curva de raio 8 m, girando 90° em 4 s. Determine para este carro:
- a velocidade angular.
 - a frequência.
 - a aceleração centrípeta.

Resolução

- a) A velocidade angular é a medida da rapidez com que um objeto gira e é dada pela taxa de variação do ângulo em relação ao tempo. Ela é representada pela letra grega ω .

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{90^\circ}{4\text{s}} = 22,5^\circ/\text{s}$$

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{\frac{\pi}{2} \text{ rad}}{4\text{s}} = \frac{\pi}{8} \text{ rad/s}$$

- b) A frequência f é a medida do número de vezes que um objeto gira em determinado intervalo de tempo, e tem relação direta com a velocidade angular.

$$\omega = 2\pi f \Rightarrow \frac{\pi}{8} = 2\pi f \therefore f = \frac{1}{16} \text{ Hz}$$

- c) A aceleração centrípeta é consequência da força que atua sobre um objeto em movimento circular uniforme e que o mantém na trajetória circular.

$$a_c = \omega^2 R = \left(\frac{\pi}{8}\right)^2 = 8 \therefore a_c = \frac{\pi^2}{8} \text{ m/s}^2$$

2. Em um experimento, uma pessoa gira uma pedra de 0,1 kg presa a um barbante que define um raio de curvatura de 2 m para a pedra, conforme a figura. Se a pedra gira na horizontal com velocidade escalar de 10 m/s, determine a força de tração na corda.

Resolução

A força de tração é uma força que atua na direção do raio da trajetória circular e é sempre perpendicular à velocidade do corpo, neste caso, da pedra. A força de tração na corda é a força que a corda exerce sobre a pedra. Ela é responsável por manter a pedra na trajetória circular.

A força de tração é igual à força centrípeta, que é dada pela seguinte fórmula:

$$T = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Onde:

m é a massa da pedra, em kg;

v é a velocidade tangencial ou escalar da pedra, em m/s;

r é o raio da trajetória circular, em m.

Cálculo:

Substituindo os valores dados na fórmula da força centrípeta, obtemos:

$$\vec{T} = \vec{F}_c$$

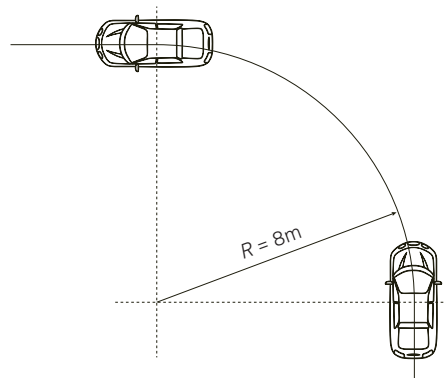
$$\vec{T} = m\vec{a}_c$$

$$T = m \frac{v^2}{R}$$

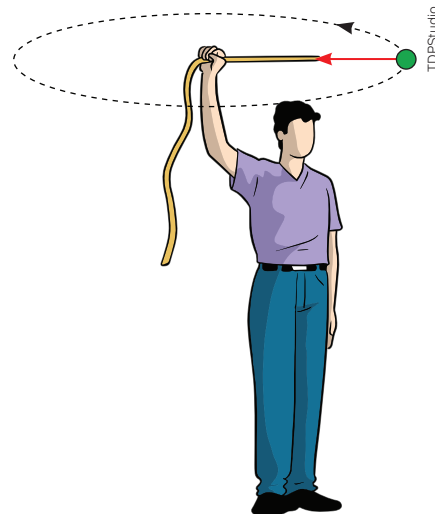
$$T = 0,1 \cdot \frac{10^2}{2}$$

$$T = 0,1 \cdot \frac{100}{2}$$

$$T = 5 \text{ N}$$



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



- Qual é a velocidade angular, em radianos por segundo, de um motor que gira com frequência de 100 Hz?
- O raio médio da órbita da Lua em torno da Terra é de 380 000 000 m, e o tempo que a Lua leva para completar uma volta em torno da Terra é de aproximadamente 27 dias ou cerca de $2,3 \times 10^6$ s. Determine:
 - A velocidade angular da Lua em torno da Terra.
 - A aceleração centrípeta da Lua em torno da Terra.
- O rover lunar, veículo projetado e adaptado para missões de exploração na Lua, é uma espécie de carro que possui rodas com diâmetro de 1,2 m. Quando o veículo se desloca a uma velocidade de 8 m/s, suas rodas giram com que velocidade angular?
- A rotação da Terra dura aproximadamente 24h (ou 86 400 s). Com base nessa informação, calcule:
 - O período de rotação da Terra.
 - A frequência de rotação da Terra.
 - A velocidade angular da Terra.
- Se o raio da esfera da Terra é de aproximadamente 6 400 km:
 - Qual é o valor da velocidade tangencial de uma pessoa que está de pé em um ponto da linha do equador?
 - Qual é o valor da velocidade tangencial de uma pessoa que está no polo norte ou no polo sul?



Marshall Space Flight Center/NASA

Gravitação universal

Muitos dos eventos observáveis no céu e na Terra são causados pelos movimentos dos astros. Marés, órbitas, eclipses e movimentos retrógrados dos planetas são eventos de interesse da Ciência e mexem com nossa imaginação. O conhecimento sobre a dinâmica do universo nos encanta, e o estudo da gravidade é uma das bases para desenvolver esse saber.

Força gravitacional

A força gravitacional é uma das forças fundamentais da natureza. Ela atua entre todos os corpos que possuem massa e é responsável pela atração entre os planetas e o Sol, entre as estrelas e as galáxias e até mesmo entre você e seu livro. É também a força que explica a queda dos corpos. A explicação para o porquê de os corpos caírem intriga o ser humano desde a Antiguidade. Aristóteles foi um dos pensadores que debruçou seus estudos acerca dessa grandeza, e é inegável a sua contribuição a respeito dessa temática. A chamada **física aristotélica** se valia de um conjunto de princípios, hoje já superados, mas que, à sua época, apresentava uma estrutura lógica para explicar a natureza e seus fenômenos. Entre esses princípios, podemos citar:

- a noção de que o Universo seria esférico e finito, com a Terra ocupando o centro e limitado pela esfera das estrelas fixas;
- a divisão do Universo em mundo supralunar (além da lua), e sublunar (antes da lua) de modo que Água, Ar, Terra e Fogo seriam os elementos que compunham tudo o que estava no mundo sublunar, enquanto a quintessência, o que acreditava-se ser uma substância etérea que comporia o mundo supralunar;
- separação do movimento em dois tipos: o movimento natural, pelo qual um corpo tende a ir para seu lugar natural, e o movimento forçado, aquele que ocorre por uma força externa. A queda de uma pedra é um exemplo de movimento natural, pois a pedra tende a ir para seu lugar natural, que é o centro da Terra. O lançamento de um objeto é um exemplo de movimento forçado, pois a força externa que lança o objeto é responsável por sua trajetória.

A física aristotélica dominou a visão do cosmo desenvolvida no ocidente global por quase dois milênios. No entanto, no século XVII, as ideias de Newton sobre a força gravitacional revolucionaram a compreensão dos movimentos dos astros.

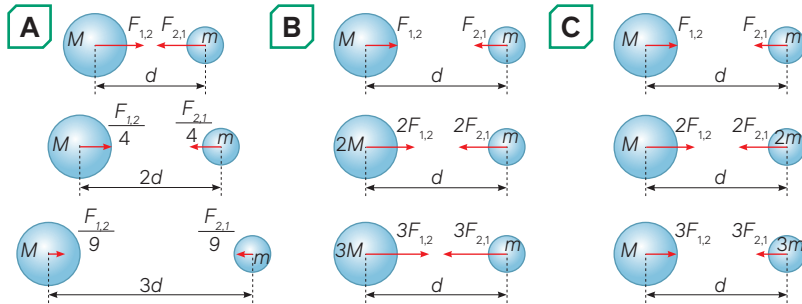


Reinaldo Vignati

Representação do universo aristotélico.

Interações entre massas: a força gravitacional

A explicação proposta por Newton é de que dois corpos que possuem massa sempre se atrairão. Essa atração é chamada de **força gravitacional** e depende tanto da distância entre os corpos quanto da massa de cada um deles. Quanto mais distantes os corpos estiverem, menor será a força de atração gravitacional. A força gravitacional entre dois corpos é proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Isso significa que, se a distância entre os corpos for dobrada, a força gravitacional será reduzida a um quarto de seu valor inicial, conforme mostrado no esquema a seguir.



Reinaldo Vignati

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

$$F_g \propto \frac{1}{d^2}$$

$$F_g \propto M$$

$$F_g \propto m$$

$$F_g \propto M \times m$$

$$F_g \propto \frac{M \cdot m}{d^2}$$

$$F_g = G \frac{M \cdot m}{d^2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} [m^3 kg^{-1} s^{-2}]$$

Varição da força de atração gravitacional entre corpos com suas dependências da distância (A) e das massas (B e C), culminando na equação da força gravitacional e indicando o valor da constante de proporcionalidade.

#FicaADica

Uma breve história do tempo, de Stephen Hawking (Intrínseca, 2015). O livro apresenta uma visão geral da Física Moderna, desde a Teoria da Relatividade de Albert Einstein até a Teoria Quântica. Ele discute conceitos como o Big Bang, os buracos negros e o Universo em expansão, com exemplos criativos e texto didático bem-humorado.

Apollo 13, direção de Ron Howard (Universal Pictures, 1995, 140 min). O filme conta a história da missão Apollo 13, que foi abortada após uma explosão no módulo de serviço. O longa aborda brevemente alguns conceitos da Física, como a gravidade, mostrando como ela afeta o movimento dos astronautas no espaço.



Ciência por fora

Gravidade terrestre e risco associado a lixo espacial

Um estudo publicado na revista científica Nature Astronomy, em julho de 2022, mostrou que nos próximos 10 anos existe um aumento preocupante dos riscos de detritos descontrolados de foguetes retornarem à Terra, ressaltando o crescente perigo que o lixo espacial representa para o planeta.

O estudo foi liderado por pesquisadores da University of British Columbia, no Canadá, e aponta que, para pessoas próximas à Linha do Equador, a probabilidade é maior, uma vez que os foguetes são lançados em órbitas próximas ao equador. Entretanto, a probabilidade de que uma pessoa

seja atingida é muito pequena, pois a maior parte de nosso planeta é constituída por água e zonas desabitadas, o que confere uma probabilidade de aproximadamente 10% de que, ao menos, uma pessoa seja atingida na próxima década. Desta forma, se pensarmos em um total de 8 bilhões de pessoas no planeta, as chances de você ser atingido por esses detritos seriam da ordem de 1 em 8 bilhões, ou seja, 142 vezes menor que ganhar o prêmio milionário na loteria de 6 dezenas com um bilhete de 6 números.

Mesmo com chances tão pequenas, há casos já documentados, como fragmentos de um satélite que

atingiram a cidade de Esperance, na Austrália, em 1970, e o caso de um morador da cidade de Oklahoma, nos Estados Unidos, atingido por partes de um foguete, em 1997, e, mais recentemente, no Brasil, em 2022, na cidade de São Mateus do Sul, Paraná, onde um fazendeiro encontrou um pedaço de um foguete.

Representação em cores-fantasia e as dimensões não seguem a proporção real.



Representação das posições de vários detritos espaciais conhecidos e documentados.

Trocando ideias

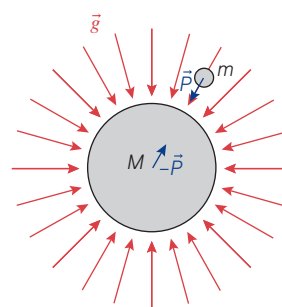


1. Quais são os riscos do lixo espacial para quem está localizado na superfície da Terra e na órbita da Terra? E quais são os riscos para os satélites que estão em órbita?
2. O texto afirma que a probabilidade de ser atingido por detritos espaciais é maior para pessoas próximas à Linha do Equador. Por quê?
3. O lançamento de satélites gera lixo espacial, que representa um risco para pessoas e objetos em órbita. Como podemos lidar com esse problema sem deixar de contar com os satélites, que promovem benefícios significativos para nossas atividades cotidianas?
4. Faça uma busca sobre soluções para o problema do lixo espacial, analisando as propostas dos países que dispõem de tecnologia espacial para resolução deste problema. Depois, faça um debate com seus colegas e veja as diferentes soluções que são propostas.

Campo gravitacional

Já vimos que duas massas se atraem devido à força, que chamamos de **força gravitacional**. Outra forma de analisar o fenômeno da atração gravitacional é pensarmos que em torno de qualquer massa há um **campo gravitacional**. Isto é, em volta do seu corpo, há um campo gravitacional gerado por sua massa e que promove a atração gravitacional em outras massas a seu redor. Do mesmo modo, em volta do planeta Terra, há um campo gravitacional que promove a atração gravitacional em outros corpos ao redor. Campo gravitacional, portanto, é uma propriedade do espaço que representa a influência gravitacional de um corpo sobre outro. É também o que conhecemos por aceleração da gravidade. A **aceleração da gravidade** terrestre, por exemplo, é a medida da intensidade do campo gravitacional da Terra. Ela é representada pela letra **g** e seu valor para regiões próximas à superfície do planeta é de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$. Podemos determinar o campo gravitacional do planeta lembrando que a força peso de um corpo é, na verdade, a força gravitacional que a Terra exerce sobre esse corpo.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



TDPStudio

$$\vec{P} = \vec{F}_g$$

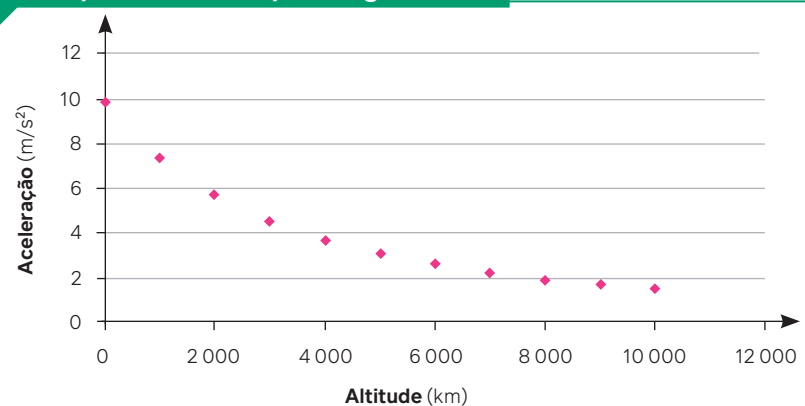
$$mg = G \frac{Mm}{Md^2}$$

$$g_{\text{sup}} = \frac{GM}{R^2}$$

Representação do campo gravitacional (em vermelho) e da força gravitacional, que é o peso (em azul), e, à direita, cálculo do campo gravitacional para um ponto na superfície da Terra.

Representação do campo gravitacional (em vermelho) e da força gravitacional, que é o peso (em azul), e, à direita, cálculo do campo gravitacional para um ponto na superfície da Terra. Podemos determinar o campo gravitacional do planeta lembrando que a força peso de um corpo é, na verdade, a força gravitacional que a Terra exerce sobre esse corpo.

Variação de aceleração da gravidade



Fonte: CÁLCULO da intensidade do campo gravitacional (g). Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, [20--?]. Disponível em: https://ppgenfis.if.ufrgs.br/mef008/mef008_02/Paulo/Trabalho/campo.html. Acesso em: 4 set. 2024.

Considerando um corpo na superfície da Terra, a distância entre os centros de massas dos dois corpos (pessoa e Terra) equivale ao raio do planeta. Isso mostra que quanto mais distante de um planeta um corpo estiver, menor será a atração gravitacional desse planeta sobre o corpo. Se construirmos um gráfico do valor do campo gravitacional, ou seja, da aceleração da gravidade, em função da altitude, veremos que se trata de uma grandeza que varia com o inverso do quadrado da distância, conforme mostrado na figura da página anterior.

Atividades comentadas

1. A aceleração da gravidade na superfície terrestre é representada pela letra g . Determine o valor da aceleração da gravidade na superfície de um planeta mais denso, que tenha o dobro da massa da Terra e metade de seu raio.

Resolução

A aceleração da gravidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o centro do corpo e o objeto.

Assim, a aceleração da gravidade é dada pela equação:

$$g_t = G \frac{M}{R_t^2}$$

Em que:

g_t é a aceleração da gravidade na superfície da Terra, em m/s^2 ;

M é a massa da Terra, em kg;

R_t é o raio da Terra, em m.

Substituindo os valores, temos:

$$g_p = G \frac{2M}{\left(\frac{R_t}{2}\right)^2} \Rightarrow g_p = 2G \frac{M}{\frac{R_t^2}{4}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow g_p = 4 \cdot 2G \frac{M}{R_t^2} \Rightarrow g_p = 8G \frac{M}{R_t^2}$$

$$g_p = 8g_t$$

Portanto, a aceleração da gravidade na superfície do planeta mais denso é oito vezes maior do que na superfície da Terra.

2. Se a massa da Terra é 81 vezes a massa da Lua e a distância entre seus centros é representado por d , a que distância da Terra uma nave terá a atração gravitacional da Terra anulada pela atração gravitacional da Lua?

Resolução

A força gravitacional é dada pela equação:

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

Para que a atração gravitacional da Terra seja anulada pela atração gravitacional da Lua, as forças gravitacionais devem ser iguais. Portanto, temos:

$$G \frac{M \cdot m'}{r_T^2} = G \frac{m_L \cdot m'}{r_L^2}$$

Em que:

M é a massa da Terra, em kg;

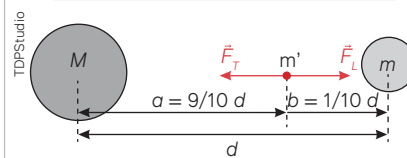
m_L é a massa da Lua, em kg;

r_T é a distância entre o centro da Terra e a nave, em m;

r_L é a distância entre o centro da Lua e a nave, em m;

Como $M = 81m_L$, temos:

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



$$F_T = F_L$$

$$G \frac{Mm'}{a^2} = G \frac{m m'}{b^2}$$

$$G \frac{81m m'}{a^2} = G \frac{m m'}{b^2}$$

$$\frac{81}{a^2} = \frac{1}{b^2}$$

$$a^2 = 81b^2$$

$$a = 9b$$

$$a + b = d$$

$$a = \frac{9}{10}d$$

Portanto, a distância da Terra a que uma nave terá a atração gravitacional da Terra anulada pela atração gravitacional da Lua é 9 décimos de distância entre o centro da Terra e o centro da Lua, medida a partir do centro da Terra.

Atividades propostas



- Determine quantas vezes a aceleração na superfície de Júpiter é maior que na superfície da Terra, considerando que a massa de Júpiter é 300 vezes a massa da Terra, e o raio de Júpiter é 10 vezes o raio da Terra.
- Sobre a força gravitacional que a Terra exerce em nossos corpos:
 - é maior que nosso peso.
 - é igual ao nosso peso.
 - é menor que nosso peso.
 - é indiferente a nosso peso.
 - pode ser maior ou menor que nosso peso a depender da nossa posição no planeta.

A primeira medição do raio da Terra

Eratóstenes calculou o raio da Terra há 2 100 anos com enorme precisão. Mesmo hoje, com o uso da mais alta tecnologia, esse cálculo ainda é um desafio, tornando os feitos de Eratóstenes algo notável.

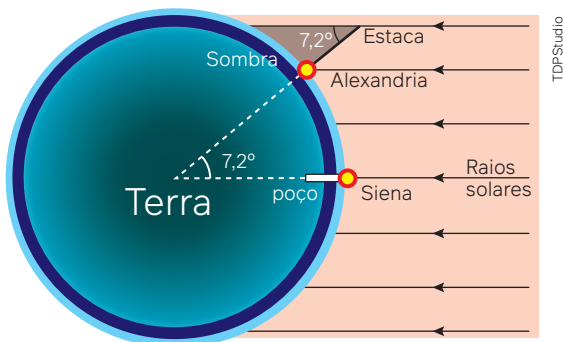
Como ele fez isto? Vamos conhecer!

[...] Como ele foi diretor da Biblioteca de Alexandria e conhecia as datas dos solstícios e equinócios, Eratóstenes notou, por meio de um dos manuscritos da biblioteca, que no Solstício de Verão, na cidade de Siena (atual Assuão), ao meio-dia, o Sol ficava quase exatamente no zênite (é como se o Sol ficasse bem no topo do céu, formando um ângulo reto com o solo), de modo que podia ser observado no fundo de um poço. Porém, em Alexandria, na mesma data e mesma hora, isso não ocorria, pois o Sol não ficava suficientemente perto do zênite.

Então ele percebeu que se pudesse determinar esse ângulo e descobrisse a distância entre as cidades, poderia determinar o tamanho da Terra.

Assim, fixou uma estaca perpendicular ao solo, em Alexandria, e mediu o comprimento da sombra em proporção ao comprimento da estaca e, com isso, encontrou o ângulo de $7,2^\circ$ ou $\frac{1}{50}$ da circunferência.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Raios solares paralelos e estaca e buraco de referência para medição do raio da Terra.

Veja que, para calcular o ângulo teta, ele precisava saber o comprimento da estaca e de sua sombra, e com isso, fazer:

$$\tan \theta = \frac{\text{comp. estaca}}{\text{sombra estaca}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \theta = \arctan \frac{\text{comp. estaca}}{\text{sombra estaca}} \Rightarrow \theta = 7,2^\circ$$

Além disso, ele assumiu que o ângulo entre as cidades era o mesmo que a estaca fazia com a luz do sol,

pois, por ter acesso à biblioteca de Alexandria, sabia que se duas retas paralelas interceptam uma reta transversal, então, os ângulos correspondentes são iguais. Estendendo os raios do sol (imaginariamente) até o centro da Terra, obteve os ângulos correspondentes.

Depois, usou a seguinte relação:

$$\frac{\text{distância cidades}}{\text{circunf. Terra}} = \frac{\theta}{2\pi}$$

isto é,

$$\text{circunf. Terra} = \frac{2\pi \times \text{distância cidades}}{\theta} =$$

$$= \frac{360^\circ}{7,2^\circ}$$

distância cidades circunf. Terra = $50 \cdot$ distância cidades

[...] Eratóstenes descobriu que a distância entre Alexandria e Siena era de 5 000 estádios. A unidade de medida, o estádio que Eratóstenes usou, tinha pouco mais de 157 metros. Com isso, temos:

circunf. Terra = $50 \cdot 5\,000$ estádios = 250 000 estádios

E realizando a conversão:

$$\text{circunf. Terra} = 250\,000 \text{ estádios} \cdot \frac{0,157 \text{ km}}{1 \text{ estádio}} =$$

$$= 39\,250 \text{ km}$$

Atualmente, sabe-se que a circunferência da Terra possui **40 075 km** de extensão, enquanto que Eratóstenes encontrou um valor de **39 250 km**. Fala sério se ele não era bom?

Finalmente, para encontrar o raio descoberto por Eratóstenes é só usar aquela velha fórmula que conhecemos:

$$C = 2\pi \cdot R \Rightarrow R = \frac{C}{2\pi} = \frac{39\,250}{6,283} \approx 6\,247 \text{ km}$$

Hoje, sabe-se que o raio da Terra é de **6 370 km**, o que dá uma diferença de 123 km da medida de Eratóstenes.

ARAÚJO, A. P. A primeira medição do raio da Terra. *Derivando Matemática*, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://www.ime.unicamp.br/~apmat/a-primeira-medicao-do-raio-da-terra/>. Acesso em: 4 dez. 2023.

Trocando ideias

1. Qual é o problema que Eratóstenes identificou e tentou resolver? Justifique a importância da realização de tal medida para o desenvolvimento científico sobre a esfericidade da Terra.
2. Pesquise e selecione uma notícia que apresente *fake news* sobre a forma do planeta Terra e, com base no que estudou, faça a adequação da notícia com base científica. Apresente o que fez aos colegas e, ao final, discutam sobre a importância da divulgação científica para o combate a *fake news*.

Órbitas

Velocidade e período de órbita

Newton propôs que a trajetória curva dos planetas é resultado da força gravitacional entre eles e o Sol. Essa força atua como uma força centrípeta, mantendo os planetas em órbita.

A

Biblioteca Pública de Nova Iorque, Nova Iorque

B

TDPStudio

C

$$F_g = F_{cp}$$

$$G \frac{Mm}{R_{orb}^2} = ma_{cp}$$

$$G \frac{Mm}{R_{orb}^2} = m \frac{v_{orb}^2}{R_{orb}}$$

$$\frac{GM}{R_{orb}} = v_{orb}^2$$

$$v_{orb} = \sqrt{\frac{GM}{R_{orb}}}$$

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Reprodução de desenho original de Isaac Newton propondo uma explicação para as órbitas (A); diagrama de forças para um corpo em órbita (B) e cálculo do valor da velocidade de órbita (C).

Nota-se, no cálculo da velocidade tangencial de órbita, que ela só depende do astro central de massa M e independe da massa m do objeto. Então, quaisquer satélites, por exemplo, que estiverem em órbita em uma mesma distância média do planeta, terão a mesma velocidade de órbita e, conseqüentemente, o mesmo tempo para dar uma volta completa.

Saiba mais

Energia potencial gravitacional e velocidade de escape: limites de grandes distâncias

A energia potencial gravitacional pode ser definida como a medida da energia que um corpo possui em virtude de sua posição em um campo gravitacional. A equação $E_g = mgh$ é uma forma simplificada de calcular a energia potencial gravitacional, válida para distâncias relativamente pequenas, em que a aceleração da gravidade pode ser considerada constante utilizando-se um referencial na superfície terrestre. No entanto, para grandes distâncias, a aceleração da gravidade depende da altura, e o trabalho da força peso não é constante e pode ser calculado adotando-se um referencial no infinito, conforme a esquematização.

O sinal negativo indica que a força peso realiza um trabalho contrário ao movimento do corpo, isto é, se um corpo for levado de onde está até o referencial (no infinito), o trabalho da força peso será negativo, ou seja, será um trabalho resistente. Isso significa que, para um corpo escapar da gravidade da Terra, sua energia cinética deve ser igual à sua energia potencial gravitacional. A velocidade com que um corpo deve ser lançado para cima, a fim de que ele escape da gravidade da Terra, é chamada de velocidade de escape.

A partir da conservação de energia mecânica, temos:

$$E_{mecA} = E_{mecB}$$

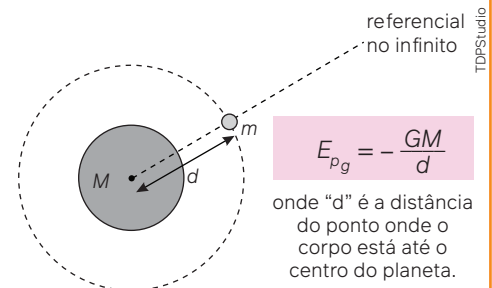
$$E_{CA} + E_{pA} = E_{CB} + E_{pB}$$

$$\frac{mv_{esc}^2}{2} + \left(-\frac{GmM}{R}\right) = \cancel{E_{CB}} + \cancel{E_{pB}}$$

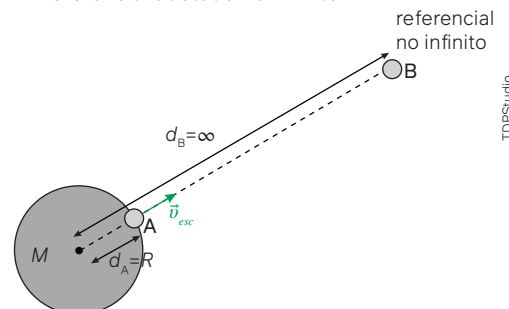
$$\frac{mv_{esc}^2}{2} = \frac{GmM}{R}$$

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Esquematização do cálculo da energia potencial gravitacional para situações em que a gravidade terrestre é variável, com um referencial adotado no infinito.



Esquematização do cálculo da velocidade de escape de um corpo.

Leis de Kepler

Um observador, ao anotar as posições de um planeta visível no céu noturno, como Marte, em algumas épocas do ano, notará que a cada registro a posição do planeta irá mudar, parecendo avançar. No entanto, se a observação decorrer por um período de alguns anos, será possível notar que por alguns meses, a cada dois anos, a posição do planeta parece recuar. Observe o esquema ao lado que ilustra o aparente movimento de Marte.

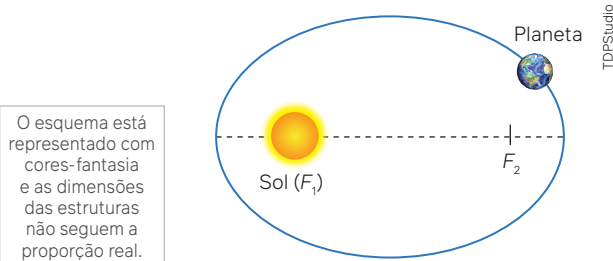
O movimento retrógrado de Marte só pode ser explicado se considerarmos que ele e a Terra giram em torno do Sol e as posições relativas dos dois planetas altera a linha de visão sob a qual ele é observado, gerando a impressão de que ele ora se desloca para leste, ora para oeste.

O astrônomo e matemático polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) já havia proposto a teoria heliocêntrica, mas foi o astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630) quem modelou matematicamente a órbita de Marte. A partir dos dados de seu supervisor, o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601), Kepler elaborou três leis para o movimento dos planetas, as duas primeiras em 1608, e a terceira, quase uma década depois, em 1618.

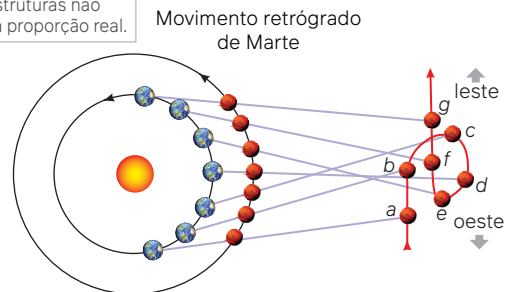
Primeira lei de Kepler

As órbitas dos planetas ao redor do Sol são elípticas. Isso significa que as órbitas dos planetas não são círculos perfeitos, mas são ovais. O Sol está localizado em um dos focos da elipse.

A força gravitacional entre o Sol e os planetas é uma força central, ou seja, ela aponta sempre entre os centros do planeta e do Sol. Em um delicado balanço entre a atração do Sol e a tendência do planeta em órbita de sair pela tangente, a distância entre eles varia durante a órbita. No ponto de maior distância do Sol, tem-se o afélio da órbita. No ponto de maior proximidade do Sol, tem-se o periélio, conforme pode ser visto na figura a seguir.



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Posições de Marte e da Terra que explicam o movimento aparentemente retrógrado de Marte.



Litografia do artista Jean-Leon Huens mostra Nicolau Copérnico elaborando sua teoria heliocêntrica.

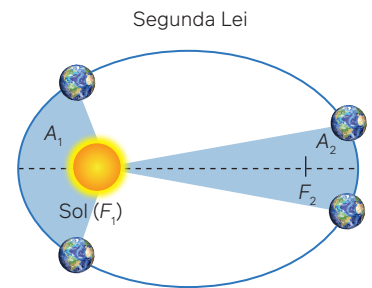
Segunda lei de Kepler

A área varrida pelo raio vetor que une um planeta ao Sol em um intervalo de tempo fixo é constante. Como consequência disso, a velocidade de órbita de um planeta varia, tendo no periélio seu valor máximo, e no afélio, seu valor mínimo. Varrendo áreas iguais em tempos iguais o planeta percorre, quando no periélio, um arco maior do que quando está no afélio. É essa diferença de velocidade que permite o efeito de catapulta gravitacional: um cometa aumenta sua velocidade quando no periélio; uma sonda espacial aumenta sua velocidade quando passa próximo a um planeta ou à Lua. Esse aumento de velocidade pode ser utilizado para maximizar a energia cinética das sondas espaciais. Resumindo esse efeito e usando uma espaçonave como exemplo, temos:

- 1. Aproximação:** A espaçonave se aproxima do planeta em uma trajetória cuidadosamente planejada.

- Interação Gravitacional:** À medida que a espaçonave se aproxima do planeta, a gravidade do planeta atrai a espaçonave, acelerando-a.
- Mudança de velocidade e trajetória:** Enquanto a espaçonave passa pelo planeta, ela ganha velocidade relativa ao Sol (ou ao centro de massa do sistema planetário), com isso, sua trajetória é alterada.
- Saída:** A espaçonave se afasta do planeta em uma nova trajetória com uma velocidade maior do que a que tinha antes da aproximação.

A catapulta gravitacional funciona com base na conservação do momento e da energia. A energia cinética da espaçonave é aumentada em virtude da energia orbital do planeta, mas como os planetas são muito mais massivos do que as espaçonaves, a mudança na velocidade do planeta é imperceptível.



O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Terceira lei de Kepler

O quadrado do período de revolução de um planeta é proporcional ao cubo do semieixo maior de sua órbita.

Se considerarmos que o raio da órbita é a distância média do planeta em relação ao Sol, podemos tratar a órbita como sendo uma trajetória circular. Nessa trajetória, a força gravitacional faz o papel de força centrípeta, e isso nos permite demonstrar a terceira lei de Kepler:

$$F_g = F_{cp}$$

$$G \frac{m_p M_{Sol}}{R_{orb}^2} = m_p a_{cp}$$

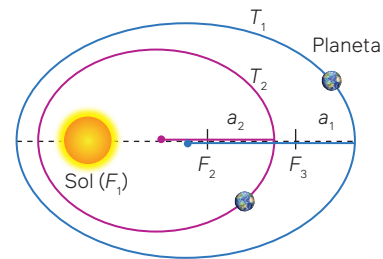
$$G \frac{m_p M_{Sol}}{R_{orb}^2} = m_p \omega^2 R_{orb}$$

$$G \frac{m_p M_{Sol}}{R_{orb}^3} = m_p \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

$$G \frac{m_p M_{Sol}}{R_{orb}^3} = m_p \frac{4\pi^2}{T^2}$$

$$\frac{T^2}{R_{orb}^3} = \frac{4\pi^2}{GM_{Sol}}$$

$$\frac{T^2}{R_{orb}^3} = Cte$$



$$\frac{T_A^2}{R_A^3} = \frac{T_B^2}{R_B^3} = \frac{T_C^2}{R_C^3} = \dots$$

Então, planetas que estão mais próximos do Sol têm períodos de revolução menores. Mas essa diferença de períodos não varia diretamente em razão da distância. A relação é mais sutil: o quadrado do período conserva relação com o cubo da distância média do planeta em reação ao Sol.

Saiba mais

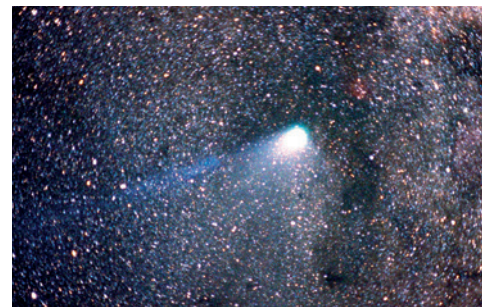
Você sabia que as leis de Kepler também têm um impacto direto no nosso cotidiano?

As leis de Kepler são usadas para calcular a trajetória dos satélites artificiais, que são essenciais para as telecomunicações, para a navegação e observação da Terra. Por exemplo, as leis de Kepler são usadas para calcular a órbita dos satélites de comunicação, que permite que você converse com seus amigos e familiares por telefone ou internet.

Elas também são usadas para calcular a trajetória dos cometas que podem causar danos à Terra. Além disso, pode-se calcular a órbita do cometa Halley, que passa próximo a Terra a cada 75 anos, ocasionando um espetáculo no céu noturno sempre que ele se aproxima; a última vez que isso ocorreu foi em 1986 e estima-se que sua próxima aparição será em 2061.

Também é por meio da utilização das leis de Kepler que podemos estudar a formação de sistemas planetários, que podem fornecer pistas sobre a origem da vida na Terra.

Portanto, a próxima vez que você usar seu telefone, navegar no GPS ou observar o céu noturno, lembre-se de que as leis de Kepler estão trabalhando silenciosamente para tornar sua vida possível.



Registro do cometa Halley obtido pelo Kuiper Airborne Observatory, durante sua última passagem próximo à Terra em 1986.

Atividades comentadas

1. No Sistema Solar, a Terra é o terceiro planeta, seguido por Marte, que é o quarto. Sobre os tempos de translação em torno do Sol, podemos afirmar que:
- são iguais.
 - em certas épocas são iguais e, em outras, Marte leva menos tempo.
 - em certas épocas são iguais e, em outras, a Terra leva menos tempo.
 - Marte sempre leva mais tempo.
 - a Terra sempre leva mais tempo.

Resolução

A resposta correta é **d**.

No Sistema Solar, os tempos de translação dos planetas ao redor do Sol são determinados pela

terceira lei de Kepler, que estabelece que o quadrado do período orbital de um planeta é proporcional ao cubo da distância média do planeta ao Sol. Especificamente, a terceira lei de Kepler pode ser expressa como:

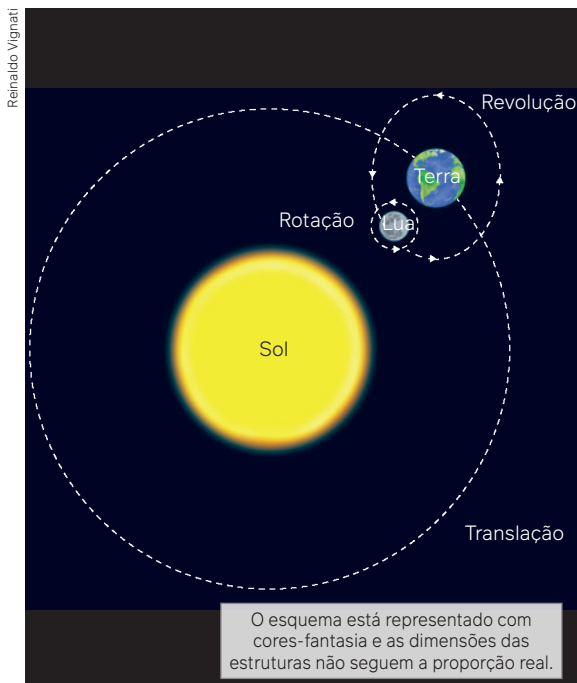
$$T^2 \propto R^3$$

Em que T é o período e R é o raio médio da órbita do planeta, assim:

$$\left(\frac{T_{\text{Marte}}}{T_{\text{Terra}}}\right)^2 = \left(\frac{R_{\text{Marte}}}{R_{\text{Terra}}}\right)^3 \rightarrow T_{\text{Marte}}^2 = \left(\frac{R_{\text{Marte}}}{R_{\text{Terra}}}\right)^3 T_{\text{Terra}}^2$$

Como o raio médio da órbita de Marte é maior que o da Terra, por estar mais distante do Sol, teremos que $\frac{R_{\text{Marte}}}{R_{\text{Terra}}} > 1$, assim $T_{\text{Marte}} > T_{\text{Terra}}$.

2. Qual é a relação entre a velocidade de translação da Lua e a força gravitacional da Terra?



Resolução

A relação entre a velocidade de translação da Lua e a força gravitacional da Terra é inversamente proporcional. Isso significa que, quanto maior a força gravitacional da Terra, menor será a velocidade de translação da Lua.

A força gravitacional é dada pela seguinte fórmula:

$$F = G \frac{m_L M_T}{R_L^2}$$

Em que:

G é a constante da gravitação universal, com valor de $6,67 \cdot 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$;

m_1 é a massa do corpo 1, em kg;

m_2 é a massa do corpo 2, em kg;

r é a distância entre os centros dos corpos, em m.

No caso da Lua, a massa do corpo 1 é a massa da Terra, $m_1 = m_T$, e a massa do corpo 2 é a massa da Lua, $m_2 = m_L$. A distância entre os centros dos corpos é o raio da órbita da Lua, $r = R_L$.

A velocidade de translação da Lua é a velocidade que a Lua precisa ter para manter sua órbita em torno da Terra. Essa velocidade é dada pela segunda lei de Newton, considerando que a aceleração é centrípeta:

$$m_L \frac{v_t^2}{R_L} = G \frac{m_L m_T}{R_L^2}$$

Assim, teremos:

$$v_t = \sqrt{\frac{GM_T}{R_L}}$$

Como m_T e G são constantes, temos:

$$v_t \propto \frac{1}{\sqrt{R_L}}$$

Portanto, quanto maior o raio da órbita da Lua, menor será a velocidade de translação da Lua.

No caso da Terra, a força gravitacional é a responsável por manter a Lua em sua órbita. Se a força gravitacional da Terra fosse menor, a Lua escaparia de sua órbita e se afastaria da Terra.



1. A Estação Espacial Internacional orbita a Terra a uma altitude de 400 km. Considerando o raio da Terra como sendo 6 400 km, isso representa 6,25% a mais que o raio da Terra. Assinale a razão pela qual os astronautas na ISS flutuam:

Dima Zei/Shutterstock.com



Vista espacial da Estação Espacial Internacional.

- a) porque a ISS está muito distante do planeta, de modo que a gravidade da Terra nela é praticamente nula.

- b) porque a energia mecânica da ISS em relação à Terra é nula.
c) porque, uma vez em órbita, a ISS está constantemente caindo, e a gravidade aparente dentro dela é nula.
d) porque a variação das marés anula a gravidade dentro da ISS.
e) porque a ISS está em repouso em relação à Terra.

2. (Enem – 2020) As leis de Kepler definem o movimento da Terra em torno do Sol. Qual é, aproximadamente, o tempo gasto, em meses, pela Terra para percorrer uma área igual a um quarto da área total da elipse?

- a) 9
b) 6
c) 4
d) 3
e) 1

3. (Mackenzie – SP) Dois satélites de um planeta têm períodos de revolução de 32 dias e 256 dias, respectivamente. Se o raio de órbita do primeiro satélite vale 1 unidade, então o raio de órbita do segundo terá quantas unidades?

Recapitule

Neste capítulo, aprendemos sobre as leis da gravitação universal e, a partir dos padrões dos movimentos circulares, entendemos como as órbitas se valem da força gravitacional para sua estabilidade. Também estudamos sobre os perigos do lixo espacial e sobre a história da primeira medição do raio da Terra, o que fornece evidência de seu formato esférico. Ao mesmo tempo, discutimos os discursos negacionistas da forma do planeta.

Antes de retomarmos as perguntas iniciais do capítulo, vamos revisar os postulados de Kepler, que foram fundamentais para que Isaac Newton explicasse a dinâmica da força gravitacional. As três leis de Kepler podem ser resumidas da seguinte forma:

- As órbitas dos planetas são elípticas, com o Sol em um dos focos.
- O raio vetor que liga o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.
- O quadrado do período de translação de um planeta é proporcional ao cubo da distância média do planeta em relação ao Sol.

Agora sim, retorne às perguntas iniciais e verifique se alteraria alguma resposta.

Desafie-se a responder:

1. A segunda lei de Kepler afirma que a área varrida pelo raio vetor que une um planeta ao Sol em um intervalo de tempo fixo é constante. O que isso significa?
2. Como as leis de Kepler podem ser usadas para explicar o movimento dos planetas?
3. Empresas lançam satélites em órbita baixa, centenas deles por ano. De um lado, esses satélites promovem comunicação. De outro lado, além das questões já discutidas a respeito do lixo espacial, esses satélites vêm promovendo poluição visual. Como você imagina o céu noturno daqui a 200 anos e o que pode ser feito para evitar que a visão das estrelas no céu seja perdida?
4. De acordo com a lei da gravitação universal, a força gravitacional entre dois objetos é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Se a massa de um planeta dobrar, qual será a influência dessa mudança na força gravitacional entre o planeta e o Sol?

Por fim, desenhe em seu caderno um mapa de ideias, organizando os conhecimentos deste capítulo.

Formação e evolução das estrelas

CAPÍTULO

18

STScI/CSA/ESA/NASA



Imagem da Nebulosa de Carina obtida pelo telescópio espacial James Webb, 2022.

▼ Para refletir

1. Você sabia que as estrelas possuem um ciclo de vida? O que significa pensar em “vida das estrelas”?
2. O que difere os diferentes tipos de estrelas? É possível analisá-las por categorias de classificação?
3. Há uma famosa frase de Carl Sagan (1934-1996) que diz “somos todos feitos de poeira das estrelas”. Qual é o significado dessa frase?

Objetivos do capítulo

- Reconhecer as condições necessárias para a formação estelar.
- Compreender a importância da fusão nuclear para a formação e evolução estelar.
- Calcular o tempo de vida das estrelas a partir de sua massa.
- Comparar o tempo de vida de diferentes estrelas relacionando essa grandeza com sua massa.
- Conhecer as diferenças entre a formação e evolução de diferentes estrelas.

Formação estelar

Não é exagero afirmar que o interesse pelo Universo e pelos astros que o compõem é uma constante da humanidade. As **estrelas** são as personagens que sempre chamam a atenção das pessoas. Para nós, a estrela mais importante é o Sol, no sentido de que sua existência propicia a vida na Terra. Embora essa estrela pareça um astro imutável no Cosmos, isso não

é uma realidade. O Sol, assim como todas as outras estrelas, possui um “ciclo de vida”. De certa forma, é feita uma comparação de cada estágio do ciclo de vida de uma estrela com uma fase específica do ciclo de vida de um ser vivo: nascimento, diferentes estágios de vida com mudanças físicas ao longo do tempo e, eventualmente, a morte.

Estudaremos, neste capítulo, como ocorrem os processos de formação estelar e evolução estelar, bem como o que acontece quando uma estrela morre.

Um aspecto importante de se ressaltar é que esses astros possuem diferentes características e processos de evolução a depender da massa inicial em seu processo de formação. Neste capítulo, também estudaremos os processos de formação mais conhecidos, compreendendo o destino de cada um.

As estrelas são formadas a partir de regiões no espaço que chamamos de **nuvens moleculares ou nebulosas**. Esses locais possuem alta concentração de gases e poeira estelar e temperatura muito baixa, em torno de 20 K, ou seja, muito próxima do zero absoluto. Devido a essa condição de baixa temperatura e alta concentração molecular, a aglomeração ainda maior de gases é favorecida.

O aumento da densidade dessas regiões ocorre até um valor limite, propiciando o início da formação estelar. Os locais mais densos dessas nuvens moleculares começam a colapsar, em geral do centro para as bordas devido à distribuição da concentração dos gases nessas regiões. Conforme esse processo se desenvolve, ocorre a fragmentação dessas formações em pedaços menores, gerando porções com massa média entre 10 e 50 massas solares (consideramos que a massa do Sol é igual a $1,9891 \cdot 10^{30}$ kg). Esses fragmentos que se destacam das nuvens moleculares são chamados de **protoestrelas**.

As protoestrelas são consideradas o estágio inicial da formação estelar. Quando elas se destacam das nuvens moleculares, a sua temperatura aumenta devido ao movimento dos gases que estão ao seu redor, que começam a ir em direção ao seu núcleo, convertendo energia cinética em energia térmica. Quando a temperatura e a pressão das protoestrelas atingem um valor crítico, ocorre o processo de fusão nuclear do hidrogênio. Esse processo gera a produção de hélio e liberação de muita energia.



Joseph DePasquale, Anton M. Koekemoer, Alyssa Pagan/STScI/CSA/ESA/NASA

“Pilares da Criação”, região localizada na Nebulosa da Águia, imagem obtida pelo telescópio James Webb, 2022.

Se liga

Quando falamos de Astronomia, devemos sempre ter em mente que as escalas dos valores que estudamos são muito maiores do que costumamos utilizar em nosso cotidiano. Isso vale para as diversas grandezas físicas utilizadas nessa área, principalmente as distâncias e dimensões, as massas dos corpos analisados, a energia associada aos processos de formação e a escala de tempo necessária tanto para a formação quanto para a evolução desses astros.

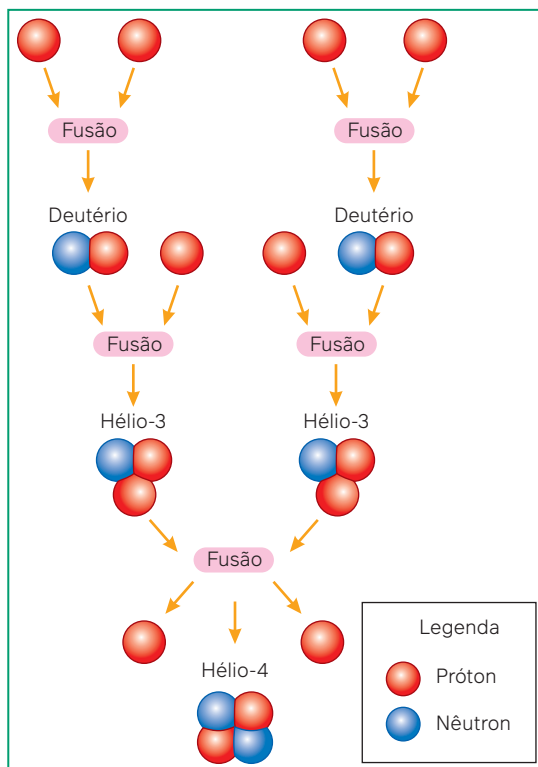
Fusão nuclear nas estrelas

O processo de **fusão nuclear** é a principal fonte de energia das estrelas. A principal fusão nuclear que ocorre nas estrelas é a que converte quatro átomos de hidrogênio em um de hélio. Esse processo é uma reação em cadeia, ou seja, o final de uma reação possibilita que a próxima reação aconteça de maneira sucessiva até que a fonte de energia acabe. A reação de fusão ocorre em três etapas principais.

- **Etapa 1:** ocorre a fusão de dois átomos de prótio (H^1 , isótopo do hidrogênio que é composto por apenas um próton no núcleo). A partir dessa fusão, é produzido um deutério (H^2 , isótopo do hidrogênio com um próton e um nêutron no seu núcleo) e há liberação de energia. A liberação de energia da reação está relacionada com a interação que ocorre entre outras partículas subatômicas que serão estudadas na unidade sobre Física Moderna.
- **Etapa 2:** o deutério formado na etapa anterior se funde com um prótio, produzindo um hélio-3 (isótopo do hélio com dois prótons e um nêutron no núcleo), liberando energia.
- **Etapa 3:** dois hélios-3 reagem, produzindo um hélio-4 (isótopo do hélio com dois prótons e dois nêutrons no núcleo), dois átomos de prótio, raios gama e energia. O hélio-4 é um átomo estável, portanto, não continua na reação, no entanto, os átomos de H^1 formados continuam reagindo, liberando energia e produzindo mais hélio.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Etapas simplificadas de processo de fusão do hidrogênio em hélio no interior das estrelas.



Nesse processo, 0,7% da massa reagente se transforma em energia liberada. Essa transformação pode ser explicada adequadamente pela famosa equação de Einstein para a equivalência entre massa e energia, que representa a unificação dos princípios de conservação da massa e da conservação da energia. Com ela podemos interpretar que uma certa quantidade de massa pode ser transformada em energia, assim como uma certa quantidade de energia pode se converter em massa:

$$E = m \cdot c^2$$

Na equação, E é a quantidade de energia, cuja unidade no Sistema Internacional de Unidades (SI) é fornecida em joules (J), m é a massa (kg) e c é a velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8$ m/s).

Analisando esse processo, é possível imaginar que se uma estrela possui maior massa, ou seja, possui mais hidrogênio para converter em hélio, então, ela deve ter um tempo de vida mais longo. Essa afirmação, apesar de ser intuitiva, não é verdadeira, pois o tempo de vida das estrelas depende não apenas da quantidade de energia que ela possui, mas também da taxa com que gasta essa energia. Como as estrelas mais massivas possuem uma taxa elevada de gasto de energia, elas têm um tempo de vida menor.

O Sol e as outras estrelas produzem energia por meio de reações de fusão nuclear. Na imagem, o objeto astronômico NGC 1783, um aglomerado estelar com centenas de milhares de estrelas que ocupam uma mesma região do espaço, 2017.

ESA/Hubble & NASA, participação de Juraj Schmidt (gedzillia.com)



► Ciências da Natureza

O estudo sobre reações nucleares pode ser aprofundado no **Capítulo 15** do volume de **Química**.

Tempo de vida das estrelas

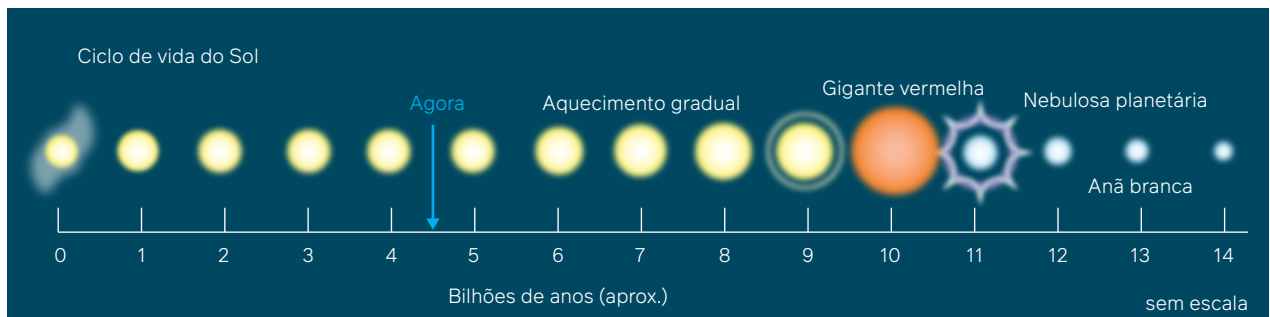
Podemos estimar o tempo de vida das estrelas a partir da razão entre a quantidade de energia que podem produzir e a sua luminosidade. Vamos compreender por que essas duas grandezas são importantes para a definição do tempo de vida das estrelas. Primeiramente, a **quantidade de energia** total que podem produzir é relevante, pois consideramos que o ciclo de vida das estrelas se inicia quando começam a realizar o processo de fusão e tem fim quando não é mais capaz de realizar esse tipo de reação. Assim, a quantidade de energia que elas produzem é fundamental para a definição do que compreendemos como tempo de vida das estrelas. Além disso, a **luminosidade** é uma propriedade intrínseca de cada estrela e é definida pela quantidade de energia que cada uma emite por unidade de tempo. Assim, o tempo de vida das estrelas depende não só da quantidade total de energia que elas produzem, mas também da quantidade de energia que emitem para o espaço.

Vale destacar que a quantidade de energia (E) depende diretamente da massa de uma estrela conforme vimos anteriormente. Por outro lado, a luminosidade (L) depende da massa elevada à terceira potência, portanto, quanto maior a massa, menor é o tempo de vida da estrela. Matematicamente, temos:

$$t_{\text{vida da estrela}} = \frac{E}{L} \Rightarrow t_{\text{vida da estrela}} \propto \frac{M_{\text{estrela}}}{M_{\text{estrela}}^3} \therefore t_{\text{vida da estrela}} \propto \frac{1}{M_{\text{estrela}}^2}$$

Para o Sol, calculamos anteriormente que a quantidade de energia que ele é capaz de produzir é igual a $1,26 \cdot 10^{44}$ J. Além disso, a sua luminosidade é igual a $3,9 \cdot 10^{26}$ J/s, portanto, o tempo de vida do Sol é igual a:

$$t_{\text{vida da estrela}} = \frac{E}{L} \Rightarrow t_{\text{Sol}} = \frac{1,26 \cdot 10^{44}}{3,96 \cdot 10^{26}} \therefore t_{\text{Sol}} = 3,2 \cdot 10^{17} \text{ s} \approx 1 \cdot 10^{10} \text{ anos}$$



Ciclo de vida do Sol.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Para estimarmos o tempo de vida de outras estrelas, podemos utilizar a equação que apresentamos anteriormente, mas é comum estimar o tempo de vida das outras estrelas a partir da comparação com o próprio tempo de vida do Sol. Matematicamente, podemos considerar que:

$$\frac{t_{\text{est}}}{t_{\text{Sol}}} = \frac{\frac{E_{\text{est}}}{E_{\text{Sol}}}}{\frac{L_{\text{est}}}{L_{\text{Sol}}}}$$

Agora, vamos considerar a proporcionalidade dessas grandezas em relação à massa:

$$\frac{t_{\text{est}}}{t_{\text{Sol}}} = \frac{\frac{E_{\text{est}}}{E_{\text{Sol}}}}{\frac{L_{\text{est}}}{L_{\text{Sol}}}} = \frac{\frac{M_{\text{est}}}{M_{\text{Sol}}}}{\left(\frac{M_{\text{est}}}{M_{\text{Sol}}}\right)^3} = \frac{1}{\left(\frac{M_{\text{est}}}{M_{\text{Sol}}}\right)^2}$$

Portanto, o tempo de vida de uma estrela qualquer pode ser calculado levando em consideração apenas a massa de ambas as estrelas e o tempo de vida do Sol:

$$\frac{t_{\text{est}}}{t_{\text{Sol}}} = \frac{M_{\text{Sol}}^2}{M_{\text{est}}^2}$$



Diversos parâmetros astronômicos baseiam-se nos estudos detalhados do Sol, a estrela mais próxima da Terra, 2018.

Atividades comentadas

1. Vamos estimar a quantidade de energia liberada pelo Sol em seu processo de fusão nuclear do hidrogênio em hélio. Para tanto, é necessário considerar que a região dessa estrela que possui condições de temperatura e pressão suficientes para a produção dessa reação é apenas o núcleo, que corresponde a 10% da massa dessa estrela. Sabendo que a massa do Sol é aproximadamente $2 \cdot 10^{30}$ kg, qual é a quantidade de energia gerada pela reação de fusão?

Resolução

Considerando a equação de equivalência entre massa e energia, e que apenas 0,7% da massa do núcleo do Sol é convertida em energia, temos:

$$E = 0,007 \cdot 0,1 \cdot M_{\text{Sol}} \cdot c^2$$

$$E = 0,007 \cdot 0,1 \cdot 2 \cdot 10^{30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2$$

$$\therefore E = 1,26 \cdot 10^{44} \text{ J}$$

Podemos dizer que essa quantidade de energia é muito grande, no entanto, você consegue ter um parâmetro de comparação para mensurar quão grande é esse valor em termos de energia? Para termos um parâmetro de comparação, vamos converter essa quantidade de energia em joule para a unidade de medida de quilowatt-hora, que é a unidade de

medida que utilizamos para mensurar o consumo de energia elétrica. Como conversão de unidades, sabemos que 1 joule equivale a aproximadamente $3 \cdot 10^{-7}$ kWh. Portanto:

$$1 \text{ J} \rightarrow 3 \cdot 10^{-7} \text{ kWh}$$

$$1,26 \cdot 10^{44} \text{ J} \rightarrow x$$

$$x = 3 \cdot 10^{-7} \cdot 1,26 \cdot 10^{44} \therefore x = 3,78 \cdot 10^{37} \text{ kWh}$$

De acordo com dados do Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2022, o Brasil consumiu cerca de $497 \cdot 10^9$ kWh, em 2021.

Para termos um parâmetro de comparação, vamos estimar por quantos anos o Sol seria capaz de fornecer energia para o Brasil, caso o país consumisse continuamente o valor anual referente a 2021.

$$1 \text{ ano} \rightarrow 497 \cdot 10^9 \text{ kWh}$$

$$x \text{ anos} \rightarrow 3,78 \cdot 10^{37} \text{ kWh}$$

$$x = \frac{3,78 \cdot 10^{37}}{497 \cdot 10^9} \therefore x = 7,61 \cdot 10^{25} \text{ anos}$$

Esse valor ainda é tão grande que é difícil termos um parâmetro concreto de comparação. Se considerarmos que o Universo possui cerca de 13,8 bilhões de anos, a quantidade de tempo que o Sol conseguiria alimentar energeticamente o Brasil é algo em torno de 10^{16} idades do Universo.

Atividades propostas



1. A estrela Sirius, também chamada de Alpha Canis Majoris, está localizada na constelação de Cão Maior e é a estrela mais brilhante visível a olho nu. Sua distância em relação à Terra é de aproximadamente 8,6 anos-luz. Além disso, essa estrela possui uma massa cerca de 2,5 vezes maior do que a massa solar. Considerando essas afirmações, estime o tempo de vida de Sirius.
2. A partir das informações do exercício anterior, determine a razão entre a luminosidade de Sirius e a luminosidade do Sol.
3. Determine o tempo de vida de uma estrela com metade da massa do Sol.
4. (UPE – 2016) As forças gravitacionais promovem fascinantes manifestações no Universo, desde a formação estelar até o movimento mais complexo de galáxias inteiras. Ao longo de bilhões de anos, a assimetria da distribuição de massa no espaço fez tais forças transformarem nuvens de hidrogênio do início do Universo em grandes corpos estelares. Nestes, a grande força gravitacional dos seus núcleos promove inúmeras colisões e reações de fusão nuclear, liberando energia. No interior do

Sol, os átomos de hidrogênio estão em agitação constante, colidindo em velocidades tão elevadas que a repulsão eletrostática natural, a qual existe entre as cargas positivas de seus núcleos, é vencida, e a fusão nuclear pode ocorrer. A energia liberada por essas colisões no núcleo do Sol mantém o planeta Terra em condições de abrigar vida e permitir o seu desenvolvimento.

Determine a potência gerada no núcleo de uma estrela semelhante ao Sol, em que quatro núcleos de hidrogênio se combinam para formar um núcleo de hélio a uma taxa de fusão de 10^{38} fusões por segundo. Assinale a alternativa que indica a resposta em unidades de 10^{23} W.

Dados:

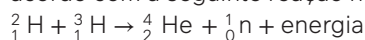
$$\text{Massa do núcleo de hidrogênio} = 1,6735 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{Massa do núcleo de hélio} = 6,6470 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

a) 2115 c) 4700 e) 8460

b) 4230 d) 6694

5. (UFMA – 2014) A bomba de hidrogênio funciona de acordo com a seguinte reação nuclear:



Portanto, podemos afirmar que:

- a) é reação de fusão do hidrogênio.
- b) é reação de fissão do hidrogênio.
- c) é reação onde ocorre apenas emissão de partículas alpha.

- d) é reação onde ocorre apenas emissão de partículas beta.
- e) é reação onde ocorre apenas emissão de raios gama.

Diagrama de Hertzsprung-Russell

Além de auxiliar com a determinação do tempo de vida das estrelas, a luminosidade é uma grandeza utilizada para a análise do ciclo de vida das estrelas como um todo, considerando aspectos de sua evolução.

O **diagrama de Hertzsprung-Russell**, ou **diagrama H-R**, é uma ferramenta gráfica utilizada para compreendermos as etapas da evolução estelar. Esse diagrama foi desenvolvido por volta de 1910 pelos astrônomos Ejnar Hertzsprung (1873-1967) e Henry Norris Russell (1877-1957).

O diagrama H-R é composto por dois eixos cartesianos. No eixo y, temos os valores da **luminosidade** das estrelas de tal forma que as mais brilhantes ficam mais afastadas da origem e as menos brilhantes mais próximas. Já no eixo x, temos a **temperatura** das estrelas, sendo que as de maior temperatura ficam mais próximas da origem, e as de menor temperatura ficam mais afastadas.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

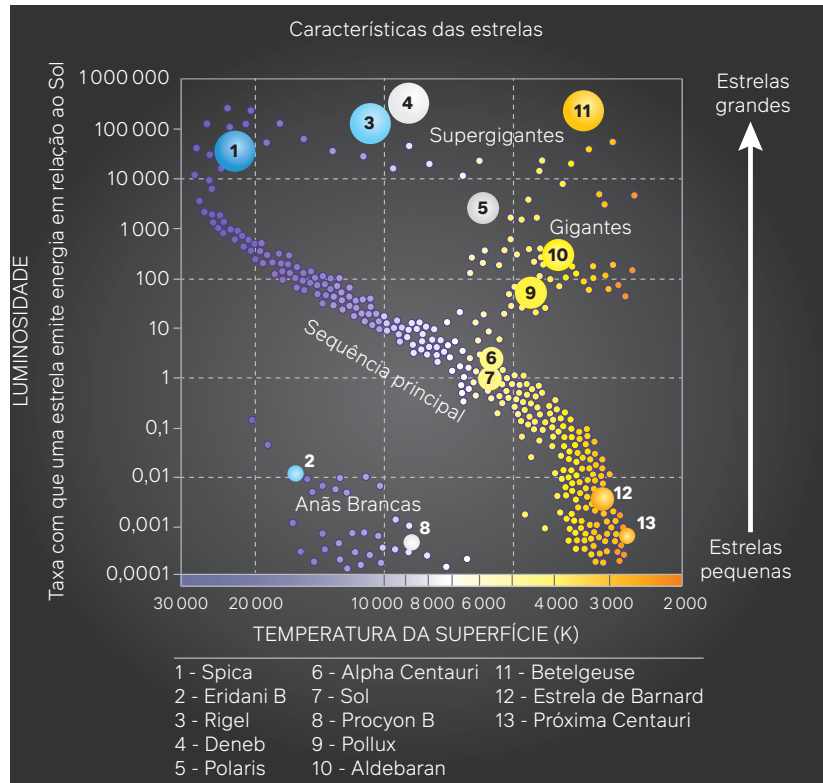


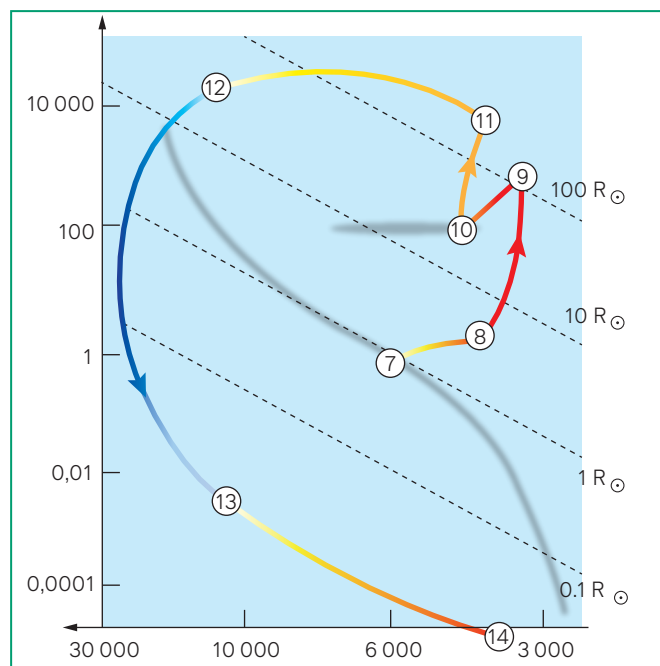
Diagrama H-R.

Note como esse diagrama fornece uma visão geral sobre características estelares a partir da região em que a estrela se localiza.

Existe uma porção do gráfico chamada de **sequência principal**, que é região em que a maior parte das estrelas está localizada, inclusive o Sol. A região mais abaixo do gráfico é povoada por estrelas denominadas de anãs brancas. Acima da sequência principal, temos duas regiões separadas: a que representa as estrelas gigantes vermelhas e as supergigantes.

A seguir, estudaremos mais detalhes dessas estrelas mencionadas e veremos as características que definem a região em que elas ocuparão nesse diagrama ao longo de suas vidas. O Sol, por exemplo, deixará a sequência principal e terminará na região das anãs brancas, depois de passar pela região das gigantes vermelhas.

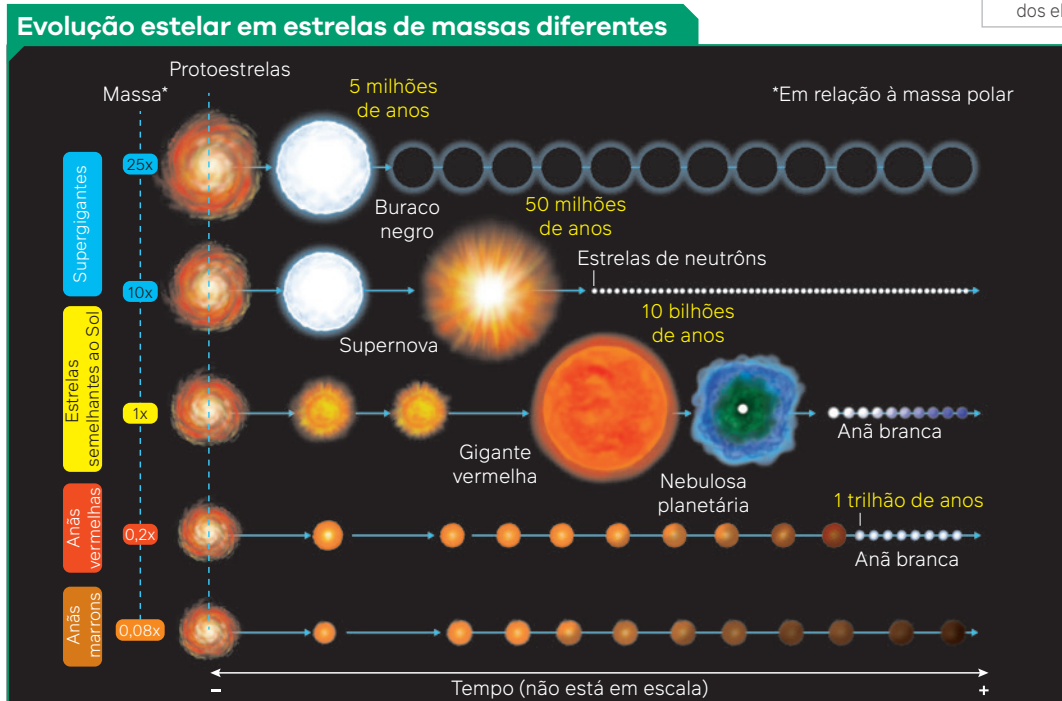
Caminho de uma estrela, durante sua evolução, com características semelhantes ao Sol.



Evolução estelar

Vimos que todas as estrelas têm sua origem na formação de uma protoestrela. A depender da **massa** dessas protoestrelas, a evolução estelar é diferente. Neste capítulo, vamos analisar cinco tipos diferentes de evolução estelar, que culminam na formação dos seguintes astros: anãs marrons, anãs brancas, estrelas de nêutrons e buracos negros.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Reinaldo Vignati

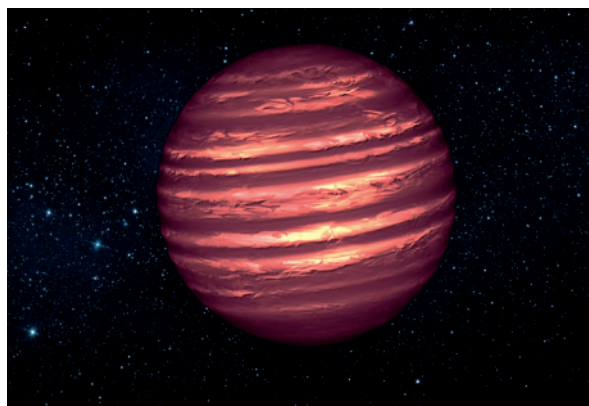
Fonte: GOLDSMITH, D. The far, far future of stars. Scientific American, JSTOR. [s. l.], v. 306, 2012. p. 37.

As fases finais nos ciclos de vida estelares dependem da quantidade de massa acumulada pela protoestrela em sua formação. As informações de tempo correspondem ao tempo aproximado do ciclo de vida de cada estrela.

Anãs marrons

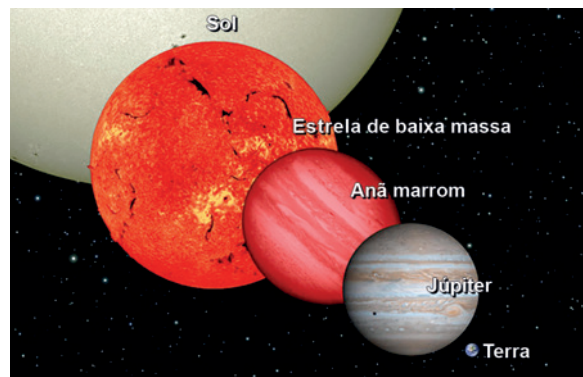
As estrelas anãs marrons são de menor massa, de valores médios próximos a 0,08 vezes a massa solar. Devido a essa característica, essas estrelas se diferem das outras pois não são capazes de realizar a fusão de H^1 (prótió). Na realidade, elas apenas são consideradas estrelas porque possuem condições físicas suficientes para realizar a fusão de H^2 (deutério) em hélio. As anãs marrons mais massivas também são capazes de fundir lítio (Li^7). Por terem massa muito pequena quando comparadas com outras estrelas, o tempo de vida das anãs marrons é muito maior, superando a ordem de trilhões de anos.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



ESA/JPL-Caltech/NASA

Representação artística de uma anã marrom.



JPL-Caltech/UCB/NASA

Comparação do tamanho das anãs marrons com outros astros como o Sol, Júpiter e a Terra.

Anãs brancas

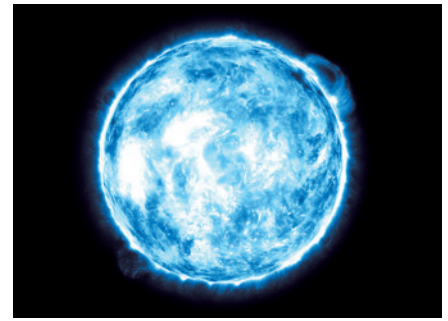
As anãs brancas são o estágio final de estrelas semelhantes ao Sol. Essas estrelas são originadas por protoestrelas que possuem massa inicial em torno de uma a dez massas solares.

Como vimos anteriormente, as estrelas são capazes de emitir luminosidade e energia devido à fusão de elementos, principalmente hidrogênio em hélio, no entanto, em algum momento da vida da estrela, seu combustível acaba. Quando isso ocorre, estrelas como o Sol têm o seu equilíbrio hidrostático afetado, que é o equilíbrio entre a pressão interna dos gases presentes no astro e a força gravitacional.

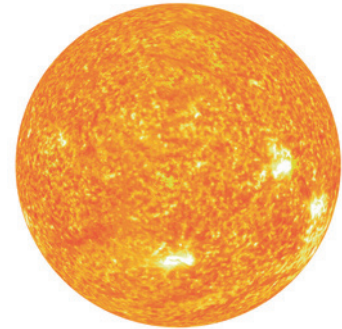
Ao final de seu estoque de hidrogênio, a estrela que tem essa faixa de massa da protoestrela começa a fundir átomos de hélio em carbono. Devido à fusão deste elemento, a estrela tem sua energia interna aumentada, o que a leva a um processo de expansão até se tornar uma gigante vermelha. Perceba que, ao longo desse processo de se tornar uma gigante vermelha, a estrela deixa a sequência principal do diagrama H-R, pois sua luminosidade e temperatura mudam.

Na fase final da gigante vermelha, a estrela perde suas camadas mais externas para o espaço ao seu redor em uma nebulosa planetária, tendo como remanescente apenas uma estrela anã branca em seu núcleo. As imagens abaixo apresentam esse estágio final da evolução estelar, com nebulosa planetária e a anã branca presente no centro.

A anã branca é uma estrela muito densa, composta principalmente por carbono e oxigênio, mas que não realiza fusão nuclear. Por essa razão, com o passar do tempo, o destino dessa estrela é esfriar e perder sua luminosidade.



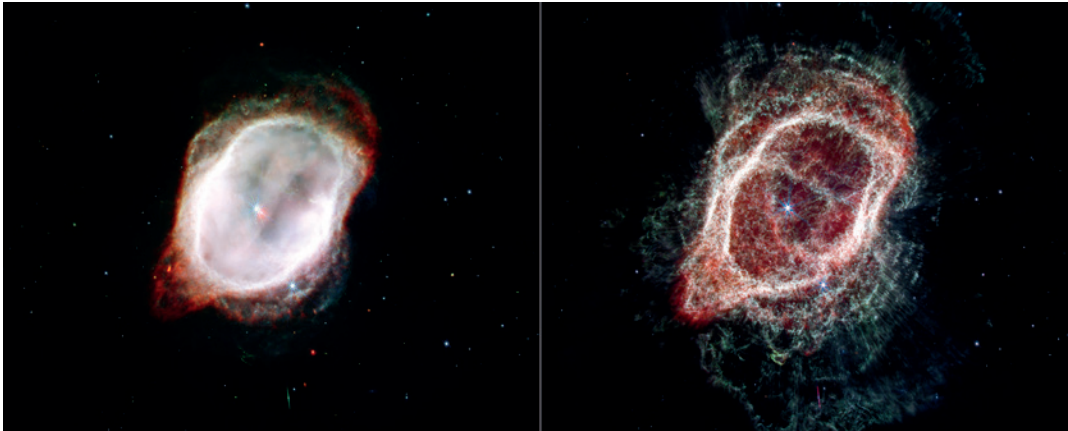
Representação artística de uma estrela anã branca.



Esquema do equilíbrio hidrostático em estrelas.

Representações simplificadas em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

O. De Marco (Macquarie University), com processamento de imagens por J. DePasquale (STScI)/CSA/ESA/NASA



Imagens da nebulosa NGC 3132, ou Nebulosa do Anel do Sul, que está a 2,5 mil anos-luz da Terra, obtidas pelo Telescópio Espacial James Webb, 2022. Ano-luz é a distância que a luz percorre em um ano terrestre (365 dias). Um ano-luz equivale a 9,5 trilhões de quilômetros, aproximadamente. No centro da nebulosa, é possível ver uma anã branca.

Estrela de nêutrons



Representação artística de uma estrela de nêutrons.

O processo de evolução de uma estrela de nêutrons é muito mais intenso quando comparado com os descritos anteriormente. Para que uma estrela de nêutrons seja formada, é necessário que a protoestrela que dará origem a ela tenha entre 10 e 20 massas solares, aproximadamente. Devido a essa massa inicial, o tempo de vida de uma estrela de nêutrons é muito mais curto do que a do Sol, por exemplo, durando cerca de 50 milhões de anos.

Semelhante ao processo descrito para a evolução das estrelas anãs brancas, nas estrelas de nêutrons também ocorre o início da fusão de elementos cada vez mais pesados no interior do astro depois que todo o hidrogênio presente é consumido.

Hadzi3/Dreamstime/Easy Mediabank

Pike 28/Shutterstock.com

Apesar disso, as estrelas de nêutrons possuem energia suficiente para fundir elementos químicos até chegar no ferro (Fe). Quando isso acontece, a estrela para de liberar energia, pois a reação que envolve o ferro consome mais energia do que é capaz de produzir. Devido a esse processo, a pressão no interior da estrela começa a diminuir gradativamente, a temperatura atinge valores muito altos e os gases das camadas mais externas seguem em direção ao núcleo da estrela. Conforme a temperatura aumenta, os prótons e os elétrons presentes no astro se combinam, formando nêutrons e liberando neutrinos. Quando a densidade do núcleo atinge um valor limite, a camada mais externa da estrela é violentamente expelida, formando uma supernova, e o que resta do núcleo é uma estrela de nêutrons. Essas estrelas possuem densidades tão altas que, se fôssemos capazes de pegar uma colher de sopa do material que as compõe a massa coletada seria da ordem de toneladas.

Uma outra característica importante dessas estrelas é que elas possuem velocidades de rotação muito elevadas. Quando apresentam também campo magnético com alta intensidade ao seu redor, elas emitem um tipo de radiação em uma região cônica na direção dos polos e são chamadas de pulsares.

Ainda, se a massa do núcleo remanescente for maior do que o valor de três massas solares, o processo de evolução do núcleo pode continuar e dar origem a um buraco negro estelar.



NASA/CXC/SAO: X-ray; NASA/JPL-Caltech: Infrared

Radiação emitida pelo pulsar PSR B1509-58, 2014.

Buracos negros

Os buracos negros estelares são objetos astronômicos com as condições físicas mais extremas que conseguimos estudar até hoje. As estrelas que dão origem a esse tipo de astro são originadas de protoestrelas com massa superior a 25 massas solares. Por esse motivo, seu tempo de vida é muito curto quando comparado com outras estrelas, em torno de de 5 milhões de anos.

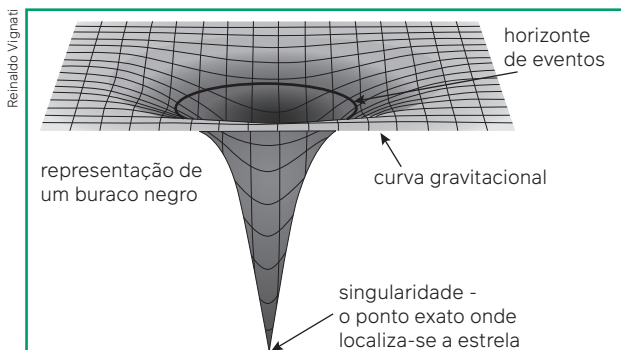
Seu processo de evolução é semelhante ao processo das estrelas de nêutrons descrito no tópico anterior. Inicialmente, a estrela funde hidrogênio em hélio. Quando esse combustível acaba, a estrela começa a fundir elementos cada vez mais pesados, e ocorre um desequilíbrio entre a pressão interna da estrela e sua força gravitacional. Quando esse processo começa a produzir ferro, a estrela explode, gerando uma supernova e fica com um núcleo remanescente. Esse núcleo é extremamente denso e a continua a colapsar devido à intensidade da gravidade ao seu redor.

Uma das diferenças entre buracos negros e outras estrelas é que, devido à sua alta massa, o seu interior é descrito como um ponto de singularidade, sendo um local onde a densidade seria infinita e que teria um horizonte de eventos ao seu redor no qual a velocidade de escape dos objetos deveria ser maior do que a velocidade da luz. Como nada no Universo chega a velocidades superiores à da luz, nenhum objeto ou radiação é capaz de deixar a região do horizonte de eventos de um buraco negro. Assim, a massa e a densidade dos buracos negros tendem a aumentar, uma vez que objetos que atingem seu horizonte de eventos irão colapsar em seu núcleo. Assim, podemos compreender esse ponto de singularidade como uma região na qual as leis físicas que conhecemos não se aplicam, já que a densidade da matéria seria infinita. Associado a este ponto, temos uma região ao redor chamada de horizonte de eventos, ou ponto de não retorno, que é compreendida como uma fronteira na qual a força da gravidade é tão alta que nada, nem mesmo a luz, seria capaz de deixá-la.



Video
Jornada estelar: um olhar sobre a evolução das estrelas

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



Representação esquemática do horizonte de eventos e de uma singularidade.

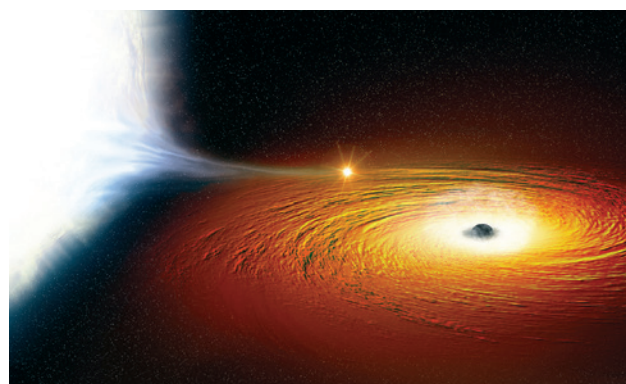


Ilustração artística de uma estrela anã branca em órbita em torno de um buraco negro estelar. À medida que circulam uma em torno da outra, a atração gravitacional do buraco negro arrasta material das camadas externas da anã branca na direção dele.

Atividades comentadas

1. (UFP – 2013) Os chamados “buracos negros”, de elevada densidade, seriam regiões do Universo capazes de atrair matéria, que passaria a ter a densidade desses “buracos”. Se a Terra, com massa da ordem de 10^{27} g, fosse absorvida por um “buraco negro” de densidade 10^{24} g/cm³, ocuparia um volume compatível ao:

- a) do Sol.
- b) de um prédio de dez andares.
- c) de uma bola de futebol.
- d) de uma gota de água.
- e) de um nêutron.

Resolução

Vamos considerar o conceito de densidade e analisar a ordem de grandeza do volume obtido. Assim:

$$d = \frac{m}{V} \Rightarrow 10^{24} = \frac{10^{27}}{V} \therefore V = 1\,000 \text{ cm}^3$$

Agora, resta analisarmos a ordem de grandeza obtida. Para facilitar a comparação, imagine um cubo de 1 cm de aresta, ou seja, um cubo cujo volume é de 1 cm³. Logo teremos mil cubos de 1 cm³, que caberiam em uma caixa cúbica de 10 cm de aresta. Se a Terra fosse absorvida por um “buraco negro” de densidade 10^{24} g/cm³, ocuparia um volume da ordem de grandeza de uma bola de futebol.

Logo, a resposta é a alternativa **c**.

Atividades propostas



1. Ao longo de suas vidas, as estrelas passam por diferentes processos de evolução. Cite um fator que interfere no processo de evolução de cada estrela. Justifique sua resposta.
2. Estrelas com massa semelhante à massa solar devem ter seu ciclo evolutivo findado em uma estrela do tipo:
- a) anã marrom.
 - b) estrela de nêutrons.
 - c) buracos negros.
 - d) anã branca.
 - e) gigante vermelha.

3. (Enem – 2011) A cor de uma estrela tem relação com a temperatura em sua superfície. Estrelas não muito quentes, cerca de 3 000 K, nos parecem avermelhadas. Já as estrelas amarelas, como o Sol, possuem temperatura em torno dos 6 000 K. As mais quentes são brancas ou azuis, porque sua temperatura fica acima dos 10 000 K. A tabela apresenta uma classificação espectral e outros dados para as estrelas dessas classes. Estrelas da Sequência Principal. Se tomarmos uma estrela que tenha temperatura 5 vezes maior que a temperatura do Sol, qual será a ordem de grandeza de sua luminosidade?

Classe Espectral	Temperatura	Luminosidade	Massa	Raio
O5	40 000	$5 \cdot 10^5$	40	18
B0	28 000	$2 \cdot 10^4$	18	7
A0	9 900	80	3	2,5
G2	5 770	1	1	1
M0	3 480	0,06	0,5	0,6

Temperatura em Kelvin

Fonte: *Luminosidade, massa e raio, tomando o Sol como unidade.*
Disponível em: <http://www.zenite.nu>. Acesso em: 1 maio 2010 (adaptado).

- a) 28 000 vezes a luminosidade do Sol.
 - b) 50 000 vezes a luminosidade do Sol.
 - c) 30 000 vezes a luminosidade do Sol.
 - d) 28 850 vezes a luminosidade do Sol.
 - e) 20 000 vezes a luminosidade do Sol.
4. As alternativas a seguir elencam diferentes tipos de estrelas. Selecione aquela que apresenta o tipo de estrela que possui a menor massa e temperatura, mas que tem maior tempo de vida.
- a) Buraco negro.
 - b) Gigante vermelha.
 - c) Anã branca.
 - d) Estrela de nêutrons.
 - e) Anã marrom.
5. Durante a formação estelar, o que desencadeia o processo de contração gravitacional de uma nuvem molecular para formar uma estrela?
- a) O aumento da radiação cósmica.
 - b) A colisão entre galáxias.
 - c) A explosão de uma supernova próxima.
 - d) O resfriamento da nuvem molecular.
6. Durante a fase de gigante vermelha, o que acontece com a camada externa da estrela?
- a) Ela se expande e se torna menos densa.
 - b) Ela se contrai e aumenta sua densidade.
 - c) Ela é ejetada para o espaço formando uma nebulosa planetária.
 - d) Ela é absorvida pelo núcleo da estrela.

Estrelas e a formação química do Universo

O estudo sobre as estrelas também está relacionado com o nosso entendimento sobre a formação química do Universo. A frase “Somos todos feitos de poeira das estrelas”, de Carl Sagan, revela, em poucas palavras, a relevância que as estrelas possuem para a riqueza química do Cosmos.

Ao longo do capítulo, vimos como as estrelas liberam gases e poeira estelar quando expelem as nebulosas e as supernovas. Essas estruturas carregam os elementos químicos fundidos pelas estrelas, tais como hélio, carbono, oxigênio e ferro. Esse material estelar é o que propicia a formação de outros objetos astronômicos, como os planetas.

Cecília Payne (1900-1979) foi uma astrônoma com papel relevante para as evidências da influência das estrelas na formação química do Universo. Payne foi quem revelou pela primeira vez que o Sol possuía constituição química semelhante à da Terra. Uma das maneiras de evidenciar essa relação é feita com a análise comparativa entre os espectros de emissão e de absorção de diferentes elementos químicos.

Uma das técnicas utilizadas para a determinação dos elementos químicos das estrelas é chamada de espectroscopia, que consiste em comparar os espectros de absorção da luz das estrelas com os espectros de emissão dos elementos químicos. Para compreendermos melhor essa técnica, é importante considerarmos a ideia de espectro da luz. Por exemplo, sabemos que, quando a luz branca atravessa um prisma, é possível observar a sua decomposição em diversas outras cores.

Quando observamos a decomposição da luz visível no prisma, podemos analisar apenas uma parte do espectro da radiação eletromagnética (a faixa equivalente à luz visível). É possível mensurar o espectro de radiação das estrelas através de técnicas de espectroscopia. A imagem a seguir apresenta o resultado da análise espectral solar.



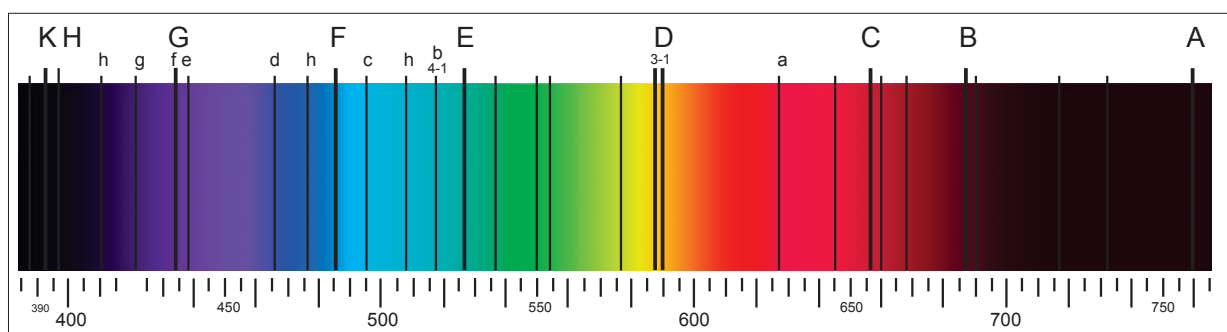
Smithsonian Institution Archives, Washington

Cecilia Helena Payne Gaposchkin, reconhecida por sua pesquisa sobre espectros estelares.



Kostenko Maxim/Shutterstock.com

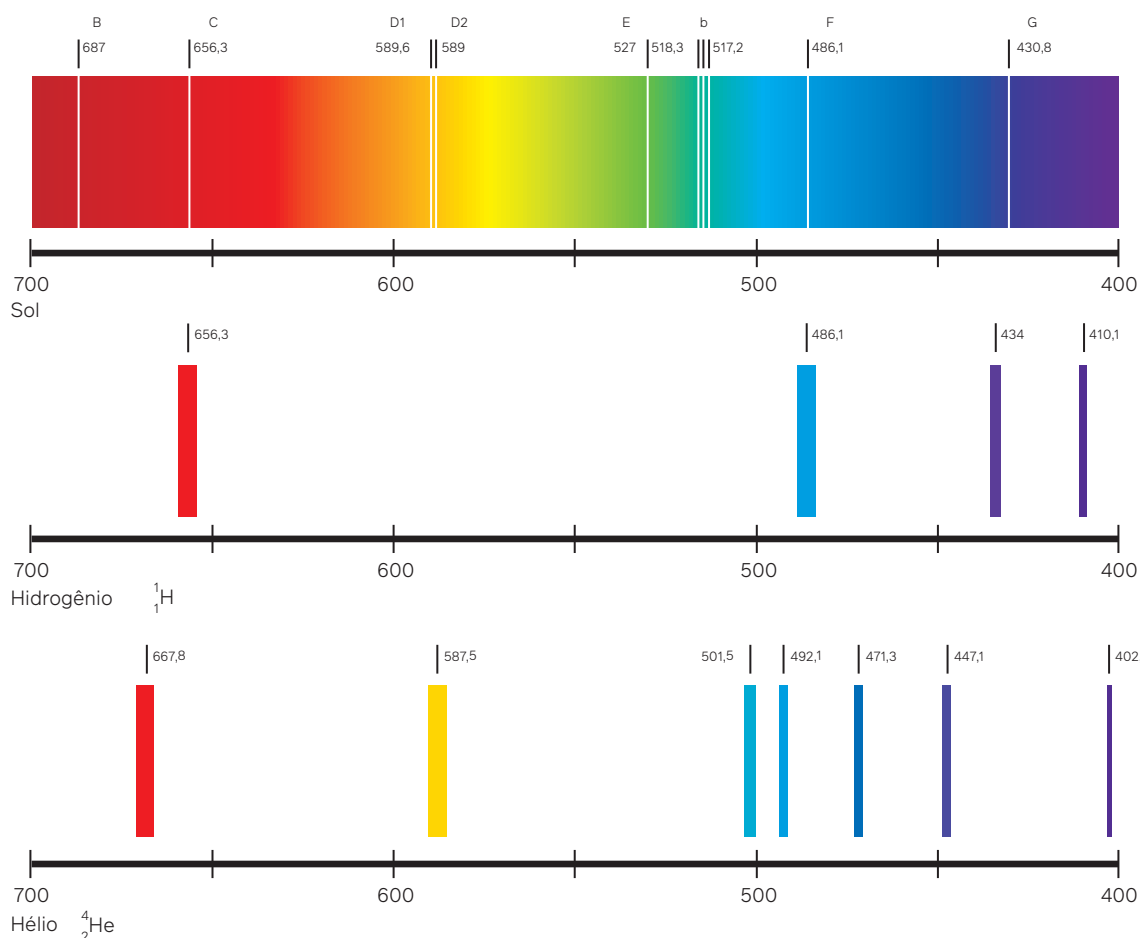
Decomposição da luz branca.



Rafael Herrera

Espectro solar.

Na imagem, é possível notar a presença de linhas de cor preta no meio do espectro. Isso acontece devido à absorção da radiação nesses comprimentos de onda pelos elementos químicos que compõem a cromosfera solar, que é a camada mais externa da estrela. Assim, podemos compreender que nem toda a radiação luminosa emitida nas camadas mais internas do Sol, de fato, é capaz de ser detectada, pois foi absorvida pelos elementos químicos que compõem a estrela. Em posse desse espectro de absorção, o próximo passo é compará-lo com o espectro de emissão de elementos químicos. Cada elemento possui um espectro de emissão único, como se fosse um código de barras. Assim, combinando o espectro de absorção pela estrela com os espectros de emissão dos elementos químicos, é possível inferir quais são os elementos que compõem a estrela analisada.



O primeiro é o espectro de absorção solar, o segundo é o espectro de emissão do hidrogênio e o terceiro é o espectro de emissão do hélio.

#FicaADica

Breves respostas para grandes questões Stephen Hawking (Intrínseca, 2018). Livro escrito pelo famoso físico Stephen Hawking (1942-2018). Na obra, o autor disserta sobre diversas questões que envolvem dimensões científicas e filosóficas, tais como: “Existe outra vida inteligente no Universo?”, “O que há dentro do buraco negro?”, entre outras.

Ciência por dentro

Cecilia Payne e as computadoradoras de Harvard: As mulheres que desvendaram o segredo das estrelas

Talvez você nunca tenha ouvido falar delas, mas as computadoradoras de Harvard são responsáveis por grandes avanços nos campos da astronomia e astrofísica. Em especial, a tese de doutorado da Cecilia Helena Payne-Gaposchkin, publicada em 1925, mostra a composição química das estrelas e chega a uma conclusão incrível: as estrelas são quase totalmente constituídas de hidrogênio e hélio, tornando estes os elementos mais abundantes do Universo! [...]

[...] No final do século XIX havia uma necessidade muito grande de classificar e catalogar dados astronômicos, devido aos avanços na tecnologia de telescópios e câmeras. Como na época não existiam computadores eletrônicos para realizar este trabalho, o mesmo era feito por pessoas que não coincidentemente eram chamadas de computadoradoras.

Diz a história que Edward Pickering, diretor do Harvard College Observatory de 1877 até 1919, estava insatisfeito com o trabalho de seus computadores e declarou que até mesmo sua empregada faria um trabalho melhor. Acontece que sua empregada não era qualquer pessoa, Williamina Fleming era uma professora escocesa que não conseguia emprego pois era mãe solteira e acabou indo trabalhar como empregada na casa de Pickering.

Contratada pelo Harvard College Observatory, Fleming aprendeu a analisar o espectro de radiação das estrelas e desenvolveu um método para classificar as estrelas. [...]



Harvard College Observatory/Universidade de Harvard, Cambridge

As computadoras de Harvard, em especial temos: [...] Williamina Fleming (1857-1911) em pé.

Com o sucesso de Fleming, quando o observatório recebeu uma doação, mais mulheres foram contratadas por Pickering até que toda a equipe fosse composta por mulheres, que ficou pejorativamente conhecida como “O harém de Pickering” ou como nos referimos atualmente a equipe, “As computadoras de Harvard”. Dizem que a equipe se tornou totalmente feminina pois o salário pago a mulheres era muito menor comparado a dos homens, o que possibilitou a contratação de uma equipe maior.

Algumas das computadoras de Harvard forneceram grandes contribuições, por exemplo, podemos citar Henrietta Swan Leavitt, que desenvolveu uma técnica para medir distâncias em escalas astronômicas usando estrelas cefeidas [...], esta técnica permitiu entre outras coisas que o astrônomo Edwin Hubble calculasse a distância de objetos distantes e concluisse que estes estão se afastando de nós, isto é, o universo está em expansão.

Leavitt foi indicada a receber o prêmio Nobel em 1926, porém a mesma havia falecido em 1921 e o prêmio Nobel não é dado postumamente.

Mas para a continuação da nossa história, temos que introduzir outro personagem: Annie Jump Cannon. Uma astrônoma extremamente dedicada e brilhante, ela simplificou o sistema de classificação de Fleming, diminuindo o número de categorias e as ordenando com relação [...] a temperatura na escala OBAFGKM.[...] Cada categoria conta ainda com uma subcategoria numérica de 0 a 9, onde 0 é a mais quente e 9 a mais fria. Nesta classificação, o Sol é uma estrela G2, isto é, a temperatura efetiva da fotosfera é próxima a 5 800 K. Esta classificação é comumente utilizada na atualidade.

Durante sua carreira, Cannon classificou mais de 300 000 estrelas! Se considerarmos um tempo de um minuto para classificar uma estrela, isto implicaria em quase 7 meses de trabalho árduo e sem descanso! O catálogo criado com ajuda de Cannon foi fundamental para a pesquisa em astronomia.

Mas algumas das perguntas ainda incomodavam na época: Por que as linhas de absorção de estrelas de categorias diferentes variam tanto? Qual a proporção entre os elementos químicos em uma estrela?

Alguns elementos pesados como cálcio e ferro tinham sido identificados no espectro do sol, isto levou a hipótese que a proporção de elementos no Sol fosse parecida com a proporção de elemento na Terra. Esta hipótese não podia estar mais errada! [...]

[...] Enquanto isto acontecia nos Estados Unidos, na Inglaterra, Cecilia Payne completava seus estudos na universidade de Cambridge e após assistir uma palestra pelo astrônomo Arthur Eddington, decidiu dedicar sua vida a pesquisa astronômica. Porém, na época, a Inglaterra não contratava mulheres como pesquisadoras e não as aceitava nos programas de doutorado, então Payne determinada a alcançar seus objetivos migra para os Estados Unidos em 1923 e é recebida no Harvard College Observatory.

Harlow Shapley, sucessor de Pickering na direção do observatório, havia acabado de criar um programa de pós-graduação na instituição e persuade Payne a escrever uma tese de doutorado. Payne torna-se a primeira pessoa a receber o título de PhD pelo observatório, escrevendo uma tese que é considerada por alguns a mais brilhante tese de doutorado escrita na área de astronomia.

Nesta tese, Payne explica a variação das linhas de absorção dos espectros estelares e descobre a proporção entre os elementos químicos de uma estrela. A conclusão mais surpreendente de seu trabalho é que os principais constituintes de uma estrela são átomos de hidrogênio e hélio, sendo estes até um milhão de vezes mais abundantes que os demais elementos.

[...] Payne percebeu que para algumas cores serem absorvidas do espectro estelar, precisaríamos que os elétrons dos átomos estejam em configurações específicas, por exemplo, para o caso do hidrogênio, as linhas de absorção que aparecem no espectro do sol, chamadas de série de Balmer, exigem que o elétron esteja inicialmente o primeiro estado excitado. Além disso, ela considerou que ao perder um elétron, as linhas de absorção do elemento mudam, isto é a assinatura do íon é diferente da assinatura do elemento neutro.

Os estados de excitação dos elétrons e a proporção de átomos que são ionizados, dependem da temperatura e da pressão na estrela. Usando o grande catálogo de estrelas disponíveis, Payne conseguiu estimar a temperatura e pressão para cada classe de estrelas, assim podendo calcular as excitações e ionizações que aconteciam em cada classe de estrelas e mostrou que as variações no espectro eram explicadas por estes fenômenos e não pela variação dos elementos químicos.

Porém, ao calcular a proporção entre elementos químicos das estrelas, Payne concluiu que hidrogênio e hélio eram muito mais abundantes que os demais elementos nas estrelas e conseqüentemente os elementos químicos mais abundantes do universo. Quando sua tese foi revisada pelo astrônomo Henry Russell, este disse que Payne certamente estava errada, pois o consenso na época era que a constituição química de uma estrela fosse próxima à da Terra. Isto fez com que Payne adicionasse uma linha em tese onde diz que seus resultados são quase certamente irrealis. [...]

[...] Quatro anos depois, Russell chega a mesma conclusão de Payne por meios alternativos e apesar de citar Payne como a descobridora da composição das estrelas em seu artigo, usualmente ele é creditado por esta descoberta. [...]

[...] Payne continuou seus trabalhos, por muito tempo sendo assistente de Shapley, fazendo diversas contribuições ao ramo da astrofísica. Até que em 1956, tornou-se a primeira professora em Harvard e a primeira mulher a ser nomeada chefe do departamento de astronomia.

Suas descobertas são objeto de estudo de diversos astrônomos pelo mundo e inspira muitos, em especial as mulheres, a seguirem carreiras acadêmicas e a pesquisa em astronomia.

SATO, E. A. Cecilia Payne e as computadoradoras de Harvard: As mulheres que desvendaram o segredo das estrelas. *Blog de Ciência da Unicamp*, Campinas, 12 mar. 2018. Disponível em: <https://www.blogs.unicamp.br/tortaprimordial/2018/03/12/cecilia-payne-e-as-computadoras-de-harvard-as-mulheres-que-desvendaram-o-segredo-das-estrelas/>. Acesso em: 6 set. 2024.

Trocando ideias

1. Podemos dizer que uma das principais contribuições de Cecília Payne para a Astronomia foi descrever a composição química do Sol e que a de Annie Cannon foi aprimorar o sistema de classificação das estrelas a partir da leitura do texto. Justifique a relevância da contribuição dessas pesquisadoras para a Astronomia.
2. O texto deixa evidente como o contexto histórico-social influencia o desenvolvimento da pesquisa científica. Indique e analise qual aspecto do contexto da época marca fundamentalmente a estrutura do meio acadêmico da época.



- (Unisinos-RS – 2016) A origem da energia solar, no Sol, ocorre a partir:
 - da combustão de substâncias que contêm carbono.
 - da fissão nuclear do hidrogênio.
 - da fissão nuclear do urânio.
 - da fusão nuclear do hidrogênio.
 - da fusão nuclear do urânio.

- (FGV-SP – 2020) De acordo com a teoria da relatividade de Einstein, a conversão de massa em energia é regida pela expressão $E = m \cdot c^2$, sendo c a velocidade da luz no vácuo, que é igual a $3 \cdot 10^8$ m/s. No interior do Sol, ocorrem fusões nas quais quatro átomos de hidrogênio se unem para formar um átomo de hélio. A massa dos quatro átomos de hidrogênio é ligeiramente maior que a de um átomo de hélio, e essa diferença, que é de aproximadamente $5,0 \cdot 10^{-29}$ kg, é convertida em energia.

Sabe-se que a energia produzida no interior do Sol, a cada segundo, é cerca de $3,6 \cdot 10^{26}$ J. portanto, a quantidade de prótons que se fundem no interior do Sol, a cada segundo, é

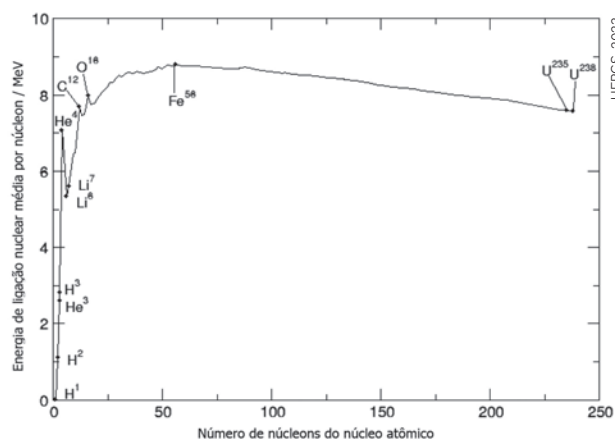
- $1,6 \cdot 10^{20}$.
 - $4,8 \cdot 10^{32}$.
 - $3,2 \cdot 10^{40}$.
 - $7,2 \cdot 10^{56}$.
 - $2,2 \cdot 10^{65}$.
- (FCMSC-SP – 2022) A geração de energia no interior do Sol se dá por meio de fusões nucleares. O processo consiste basicamente na fusão de 4 núcleos de hidrogênio para formar 1 núcleo de hélio, sendo que a massa do núcleo produzido é menor que a soma das massas dos núcleos iniciais. Essa diminuta diferença de massa, $4,7 \cdot 10^{-29}$ kg, é convertida em energia de acordo com a expressão proposta por Einstein: $E = m \cdot c^2$, sendo E a energia gerada, m a diferença de massa e c a velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8$ m/s).

Sabendo-se que o Sol produz energia na razão de $3,9 \cdot 10^{26}$ J/s e considerando que toda energia seja gerada pelo processo de fusão de núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio, a ordem de grandeza do número dessas fusões que ocorrem no interior do Sol a cada segundo é

- | | |
|----------------|----------------|
| a) 10^{45} . | d) 10^{38} . |
| b) 10^{32} . | e) 10^{24} . |
| c) 10^{18} . | |

- (UFRGS – 2023) O gráfico indica o valor da energia de ligação média por núcleon versus o número de núcleons (número de massa), para núcleos atômicos. Por núcleon, entende-se um componente do

núcleo atômico, próton ou nêutron. A energia (nas ordenadas) é informada em MeV (10^6 eV).



Observando o gráfico, pode-se chegar a conclusões sobre reações nucleares que liberam grande quantidade de energia potencialmente aproveitável, as chamadas fissão e fusão nucleares.

Assinale a alternativa que apresenta uma afirmação correta a respeito dessas reações.

- A fusão nuclear ocorre pela união de determinados núcleos localizados no final da curva (à direita).
 - A fissão nuclear ocorre pela quebra eV de determinados núcleos localizados no início da curva (à esquerda).
 - A fusão nuclear ocorre pela quebra de determinados núcleos localizados no final da curva (à direita).
 - A fissão nuclear ocorre pela união de determinados núcleos localizados no início da curva (à esquerda).
 - A fusão nuclear ocorre pela união de determinados núcleos localizados no início da curva (à esquerda).
- (Enem – 2022)

“Um Buraco Negro é um corpo celeste que possui uma grande quantidade de matéria concentrada em uma pequena região do espaço, de modo que sua força gravitacional é tão grande que qualquer partícula fica aprisionada em sua superfície, inclusive a luz. O raio dessa região caracteriza uma superfície-limite, chamada de horizonte de eventos, da qual nada consegue escapar. Considere que o Sol foi instantaneamente substituído por um Buraco Negro com a mesma massa solar, de modo que o seu horizonte de eventos seja de aproximadamente 3,0 km.”

SCHWARZSCHILD, K. On the Gravitational Field of a Mass Point According to Einstein's Theory. Disponível em: arxiv.org. Acesso em: 26 maio 2022 (adaptado).

Após a substituição descrita, o que aconteceria aos planetas do Sistema Solar?

- a) Eles se moveriam em órbitas espirais, aproximando-se sucessivamente do Buraco Negro.
 - b) Eles manteriam suas órbitas inalteradas.
 - c) Eles oscilariam aleatoriamente em torno de suas órbitas elípticas originais.
 - d) Eles se moveriam em direção ao centro do Buraco Negro.
 - e) Eles passariam a precessionar mais rapidamente.
6. O diagrama H-R é uma ferramenta utilizada para categorizar algumas estrelas em seus diferentes processos de evolução. Considerando uma estrela com massa equivalente à do Sol
- a) Descreva corretamente quais são as fases principais da formação e evolução desses tipos de estrelas.
 - b) Indique, no diagrama H-R, quais seriam as regiões pelas quais essa estrela seria localizada no diagrama ao longo do seu ciclo de vida.
7. Considere uma estrela de massa média, cujo período do ciclo de vida é caracterizado pelo esgotamento do hidrogênio que existia em seu núcleo. A partir dessas informações, assinale a alternativa que indica corretamente qual é o período do ciclo de vida em que essa estrela se encontra e qual é o nome da próxima fase que entrará.
- a) Início - Anã branca.
 - b) Final - Anã branca.
 - c) Início - Gigante vermelha.
 - d) Final - Gigante vermelha.
 - e) Final - Anã vermelha.
8. Sabemos que as estrelas possuem um papel fundamental para a formação química do Universo. Assinale a alternativa que indica o nome do processo que ocorre ao longo do ciclo de vida das estrelas e é o responsável pela formação de diferentes elementos químicos.
- a) Formação da protoestrela.

- b) Ejeção de matéria durante a fase de gigante vermelha.
- c) Fusão nuclear no núcleo da estrela.
- d) Fissão nuclear no núcleo da estrela.
- e) Desenvolvimento de nebulosas.

9. As protoestrelas são consideradas estágios iniciais fundamentais para a formação estelar, no entanto, como o próprio nome indica, elas ainda não são consideradas estrelas. Descreva o processo de formação de uma protoestrela e explique por que elas não são classificadas como estrelas.
10. Existem diversos tipos de estrelas no Universo. Três das possíveis categorias de estrelas são as anãs marrons, anãs brancas e as estrelas de nêutrons.
- a) Ordene, de maneira crescente ou decrescente, as seguintes características físicas das estrelas mencionadas no enunciado: massa, temperatura e tempo de vida.
 - b) As três estrelas mencionadas são os estágios finais de diferentes estrelas. Faça uma representação esquemática das fases pelas quais essas estrelas passam ao longo dos seus ciclos de vida.
11. As anãs marrons são o tipo de estrela de maior quantidade no Universo. Elabore uma hipótese que seja capaz de justificar a afirmação anterior.
12. (UFRGS - 2000) Assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna do parágrafo abaixo. O Sol é a grande fonte de energia para toda a vida na Terra. Durante muito tempo, a origem da energia irradiada pelo Sol foi um mistério para a humanidade. Hoje, as modernas teorias de evolução das estrelas nos dizem que a energia irradiada pelo Sol provém de processos de que ocorrem no seu interior, envolvendo núcleos de elementos leves.
- a) espalhamento
 - b) fusão nuclear
 - c) fissão nuclear
 - d) fotossíntese
 - e) combustão

Recapitule



Ao longo do capítulo, estudamos como ocorre a formação e a evolução de estrelas. Analisamos, primeiramente, quais são as condições necessárias para a formação desses astros e vimos como a massa da estrela formada está relacionada com o tempo de vida dela. Posteriormente, vimos como a massa também é uma grandeza que define o que ocorrerá no processo de evolução de cada estrela. Com isso, estudamos como ocorre a evolução estelar que culmina em anãs marrons, anãs brancas, estrelas de nêutrons e buracos negros. Por fim, vimos como as estrelas possuem papel fundamental na formação química do nosso Universo e do nosso planeta.

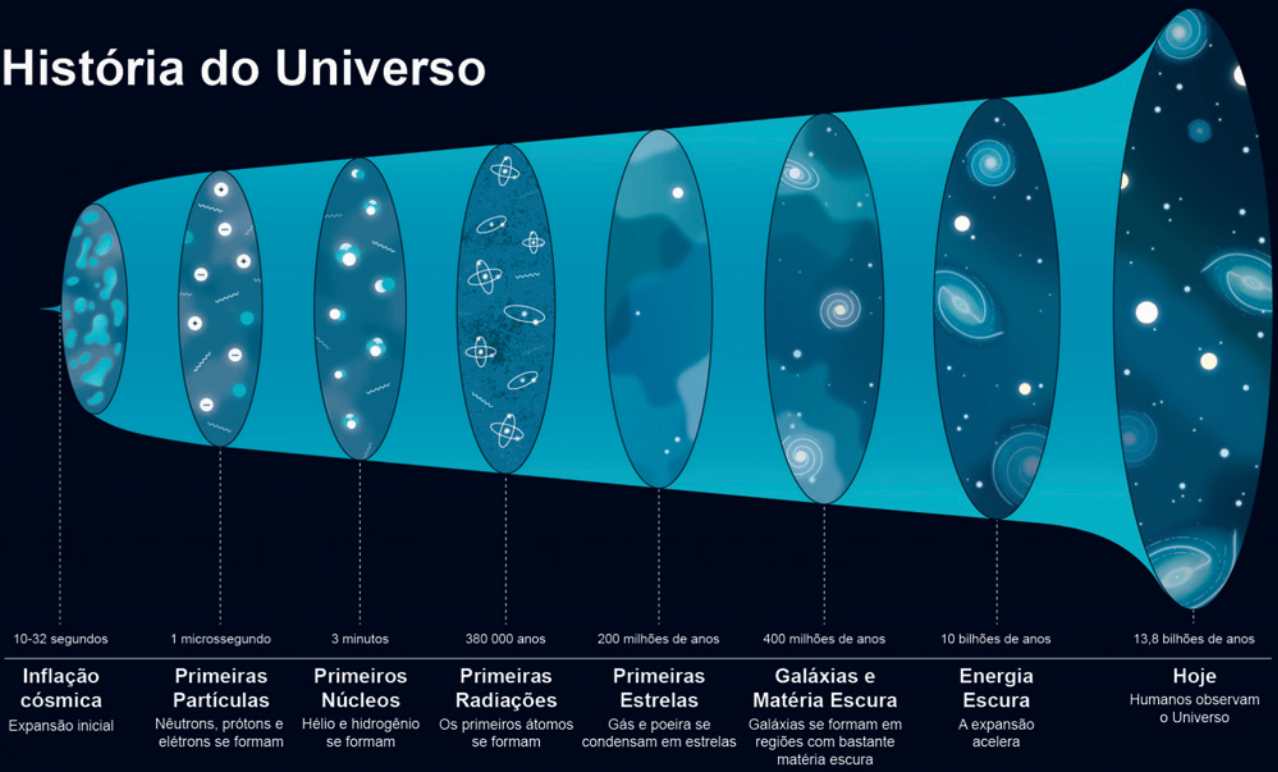
Na direção de buscar compreender a formação química do Cosmos, as estrelas nos fornecem evidências importantes, no entanto, ainda restam diversas dúvidas sobre como as primeiras nebulosas e estrelas se formaram. Estudaremos de maneira mais aprofundada a origem do Universo no próximo capítulo.

Agora, retome as questões do início do capítulo no box **Para refletir**. Com base no que aprendeu, como você responderia a essas questões? Suas respostas iniciais se alterariam?

Expansão do Universo

NASA

História do Universo



Breve descrição da história do Universo.

Esquema com concepção artística dos elementos, sem reproduzir cores naturais ou seguir a proporção real entre as dimensões.

Para refletir

A questão de onde viemos e como as coisas surgiram é uma das mais intrigantes para a humanidade. Diferentes explicações para o surgimento do Universo e da vida foram desenvolvidas em várias culturas. A Ciência também procura responder a esta questão, mas com metodologias próprias. Neste capítulo, estudaremos algumas das principais discussões e teorias que decorrem da tentativa de explicação desta pergunta a partir do olhar da Ciência.

1. O que aconteceu no início do Universo?
2. Como o Universo evoluiu até o estágio atual?
3. Há como sabermos se o Universo terá um fim?

Objetivos do capítulo

- Analisar os mitos da criação como manifestações culturais do interesse da humanidade em compreender sua origem e a do Universo.
- Retomar historicamente a evolução de diferentes modelos cosmológicos.
- Apresentar o Modelo Cosmológico Padrão e a teoria do Big Bang.
- Operar matematicamente com a lei de Hubble.

Modelos cosmológicos

Por que temos tanta curiosidade sobre a origem do Universo, da vida e da matéria? Talvez a resposta para essa pergunta esteja relacionada com a angústia dos seres humanos em compreender o sentido de sua própria existência na Terra. Evidenciamos essa busca do início do Universo e da vida observando as proposições explicativas de diferentes povos, em diversas regiões e épocas. A esse conjunto de explicações de cunho não científico, damos o nome de **mitos da criação**. O estudo a seu respeito é fundamental para que possamos compreender a estrutura de pensamento de diferentes bases culturais.

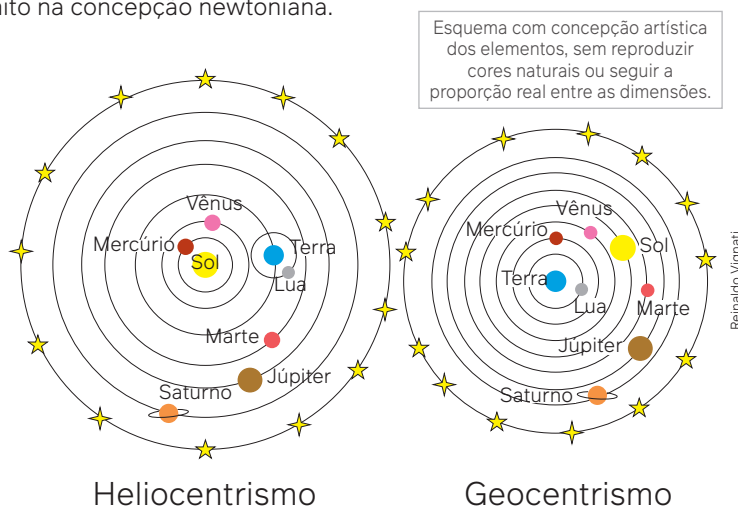
A Ciência também propõe modelos explicativos sobre a origem do Universo e da vida. No entanto, embora faça parte da sociedade, portanto está imbuída de suas influências culturais e sociais, há um aspecto fundamental que difere os modelos cosmológicos científicos dos mitos da criação. Na Ciência, há um conjunto de regras que são seguidas para que as teorias propostas sejam validadas. Toda proposição científica deve estar embasada em referenciais teóricos e metodológicos. Para a Física, as evidências experimentais das teorias propostas também se constituem como aspecto fundamental para a validação dos modelos teóricos. Assim, embora seja possível observar a existência de mitos de criação desde o início da história, a Ciência foi capaz de propor modelos cosmológicos que visam explicar a origem e a evolução do Universo apenas no século XX. A cosmologia é a área da Ciência que busca compreender qual é a origem do Universo, como ele evolui e qual é sua composição. Dessa forma, os modelos cosmológicos são os modelos científicos propostos para a explicação da origem e evolução do Universo. Estudaremos, neste capítulo, o Modelo Padrão da Cosmologia, que é o modelo cosmológico mais aceito atualmente no meio acadêmico.

Evolução dos modelos cosmológicos

Sabemos que existiam, na antiguidade, algumas proposições científicas que buscavam compreender a estrutura do Universo. Podemos citar os modelos geocêntrico e heliocêntrico como exemplos de tentativas de explicar o Universo ao nosso redor. Esses modelos apresentavam a descrição da estrutura de astros em uma escala de distância muito menor do que entendemos hoje como Universo observável. Apesar disso, essas descrições já revelam concepções iniciais para a explicação da estrutura da matéria para além da Terra.

Entre 1687 – ano de publicação da obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, de Isaac Newton (1643-1727) – e a década de 1920, a concepção de Universo era influenciada fortemente pela gravitação newtoniana, de acordo com a qual todos os corpos se atraem com uma força que depende diretamente do produto da massa dos corpos envolvidos e que é inversamente proporcional à distância entre eles. Essa proposição é sistematizada na Lei da Gravitação Universal de Newton, e nos leva a um problema conhecido como o “problema da estabilidade do Universo”: se todos os corpos com massa se atraem mutuamente, o que mantém o Universo estável, garantindo que toda a matéria não colapse em um único ponto de concentração de todas as massas? Para buscar resolver esse problema, Newton propôs que o Universo é **infinito, homogêneo e estático**. Ao supor que o Universo é infinito e homogêneo, o problema da estabilidade do Universo é contornado, pois pode-se considerar que, para cada corpo massivo existente, há uma quantidade infinita e equivalente de massa ao seu redor, de tal forma que a soma das forças gravitacionais que atuam nesse corpo se anule. Além disso, a ideia de Universo estático não quer dizer que os astros não possuam movimento, mas sim que o Universo em si não se expande ou contrai. Assim, o Universo possui um tamanho fixo (estável), mas ainda infinito na concepção newtoniana.

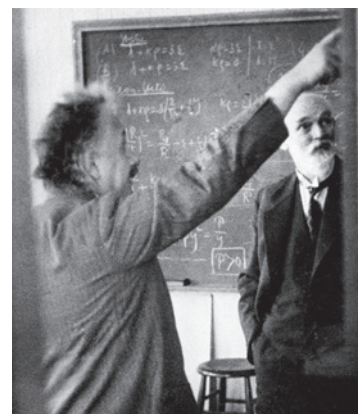
Após a década de 1920, a teoria da relatividade de Einstein (1879-1955) se tornou a mais aceita para a explicação de fenômenos gravitacionais. Para a elaboração desta teoria, Einstein também propõe que o Universo é **estático**, mas, ao contrário de Newton, assume que ele é finito. Nessa construção, o problema da estabilidade do Universo persiste. Para contorná-lo, Einstein propõe a existência de uma constante cosmológica, que realiza o papel de impor uma repulsão gravitacional e garante que a matéria não colapse em um único ponto.



Comparação entre o modelo heliocêntrico e o geocêntrico.

Fonte: os esquemas foram elaborados apenas para fins didáticos.

No mesmo ano em que Einstein publicou seu trabalho sobre a constante cosmológica para a descrição do Universo, o holandês Willem de Sitter (1872-1934) publicou outro trabalho resolvendo as equações propostas por Einstein, mas com uma grande diferença: a **desconsideração da matéria** na construção do modelo. Para de Sitter, o Universo também era finito e estático, mas é importante salientar que de Sitter, além de físico e astrônomo, também era matemático. Dessa maneira, a desconsideração da matéria é colocada em seu modelo como uma abstração matemática, considerando que a densidade da matéria espalhada no Universo é baixa. Nesse modelo, a constante cosmológica proposta por Einstein também foi considerada como uma espécie de introdução de uma força gravitacional repulsiva. Apesar de desconsiderar a presença de matéria na construção do modelo, de Sitter chegou a uma conclusão importante quando fazia os cálculos supondo a presença de matéria em certa região, concluindo que, se houvesse a presença de matéria, ela se espalharia com velocidade proporcional à distância, o que ficou conhecido como **efeito de Sitter**. Ele não considerou que esse afastamento seria um efeito real, interpretando-o apenas como um resultado fictício. Vale lembrar que, até o momento, o Universo era modelado como algo estático. Como o efeito de Sitter implica a interpretação de um Universo em expansão, sua validade real não foi considerada na época, mas trouxe uma significativa contribuição para modelos cosmológicos futuros.



Conversa entre Einstein e Willem de Sitter, em 1932.

As conclusões alcançadas pelos trabalhos de Einstein e de Sitter geraram inquietações em diversos outros cientistas da época, que culminaram em proposição de outros modelos cosmológicos, incluindo o Modelo Padrão da Cosmologia que consideramos atualmente. Embora tenham se inspirado nos modelos que consideravam o Universo como finito e estático, os modelos posteriores têm como proposta a ideia do Universo em expansão. Agora, vamos analisar as contribuições de quatro pesquisadores: Friedmann, Lemaître, Hubble e Eddington.

Um dos primeiros trabalhos derivado das equações cosmológicas de Einstein são as contribuições do matemático russo Alexander Friedmann (1888-1925). Devido à sua formação, sua principal preocupação era analisar as diferentes possíveis soluções para as equações, mesmo que elas não tivessem significado físico. Friedmann considerava que a densidade era a grandeza determinante para a maneira como aconteceria a evolução do Universo.

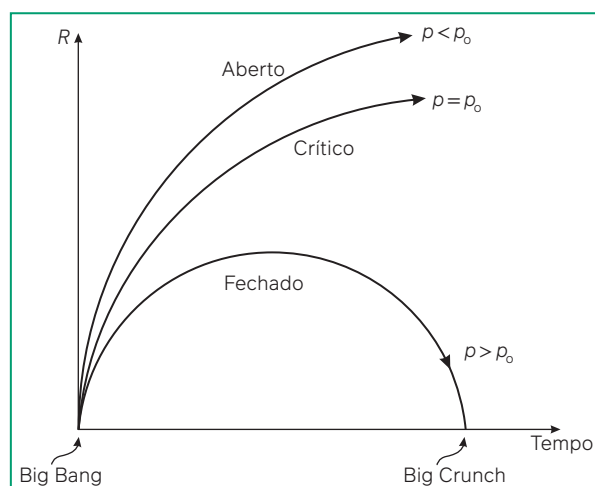
Friedmann chegou a três conclusões principais:

1. se a densidade de matéria for alta, o Universo teria uma expansão limitada até um certo ponto, no qual voltaria à contração, portanto, seria fechado e finito;
2. se a densidade for baixa, a expansão continua de maneira indefinida, caracterizando um Universo aberto e infinito;
3. se a densidade tiver um valor intermediário, o Universo se expande com uma velocidade que decresce ao longo do tempo, até se anular.

Um outro pesquisador que chegou a resultados semelhantes aos de Friedmann foi Georges Lemaître (1894-1966). Ao contrário de Friedmann, Lemaître buscava resultados que tivessem significados físicos e que fossem consistentes com observações experimentais do Cosmos. Lemaître tinha uma formação diversificada: ao mesmo tempo em que iniciava sua carreira enquanto físico teórico, estudava para ser padre da igreja Católica. Esse pesquisador foi aluno de Arthur Eddington (1882-1944), que já era um importante astrofísico quando Lemaître começou sua carreira. Na década de 1920, Lemaître publicou um trabalho em que realizava uma revisão do modelo cosmológico de Willem de Sitter, relacionando-o com dados experimentais obtidos pelo astrônomo estadunidense Edwin Hubble (1889-1953), que mostravam haver um desvio da luz para comprimentos de onda do vermelho, indicando que as estrelas emissoras de luz se afastavam do nosso referencial da Terra desde o momento em que emitiram a radiação até ela ser detectada. Nesse artigo, Lemaître apresenta um modelo cosmológico em que o Universo estaria inicialmente estático, mas que, em certo momento, saiu deste estado de equilíbrio e começou a se expandir. Esse modelo é conhecido como **modelo do átomo primordial**, em que toda a matéria estaria confinada em uma região menor que o próprio núcleo atômico.

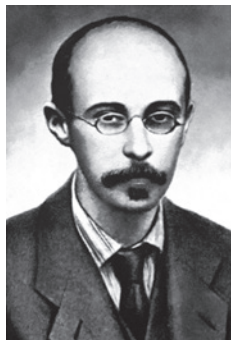
Representação gráfica dos modelos propostos por Friedmann. No gráfico, R representa uma grandeza que pode ser interpretada como o tamanho do Universo; já o Big Crunch é o estado de colapso da matéria em um único ponto após a expansão.

Fonte: BAGDONAS, A. *Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia*. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.



Apesar de hoje considerarmos que o modelo de Lemaître foi o início da teoria do Big Bang, seu trabalho não teve muito impacto no meio acadêmico na época da publicação. Foi apenas na década de 1930, após o reconhecimento de Eddington e da tradução realizada por ele, que seu estudo passou a ter maior relevância.

Friedmann



Biblioteca Nacional da Rússia, São Petersburgo

Lemaître



Arquivos Estaduais de Louvain-la-Neuve, Bélgica

Eddington



Walter Stoneman/National Portrait Gallery, Londres

Hubble



The Huntington, San Marino

Cosmólogos que contribuíram para o desenvolvimento do modelo de expansão do Universo.

Ciência por fora

Mitos da criação e a Cosmologia

Diversos povos desenvolveram mitos da criação, que visam explicar a origem dos seres humanos, da vida, do planeta Terra e do Universo. O texto a seguir apresenta uma breve descrição de fragmentos da cosmologia da civilização maia e da civilização babilônica.

Cosmologia Maia

[...] A civilização maia surgiu por volta do ano 1800 a.C. na região da Mesoamérica, que hoje corresponde ao sudeste do México, Belize, Guatemala, as partes setentrionais de Honduras e El Salvador. Essa civilização teve seu período clássico entre 250 a.C. até 900 d.C. quando possivelmente desenvolveram um sistema de escrita, matemática, observações astronômicas, calendário e arquitetura que caracterizavam as peculiaridades da cultura desse povo. Por volta do século IX a maioria das cidades maias foram misteriosamente abandonadas, restando apenas algumas cidades ao norte, que posteriormente foram descobertas e colonizadas pelos espanhóis. Apesar disso, a cultura maia não foi totalmente perdida. Os maias desenvolveram a astronomia, faziam observações dos objetos celestes e tinham a habilidade de prever a posição desses objetos anos à frente, assim como os eclipses lunares e solares com certa precisão, considerando que suas observações eram a olho nu. Eles registravam o movimento do sol, da lua de Júpiter, de Marte, da eclíptica e da via láctea, e tinham um interesse especial em Vênus que era cultuado, mas todo esse interesse astronômico, provavelmente, não tinha um caráter científico e nem filosófico, mas sim religioso.

Os maias originais tinham uma cosmologia cercada de beleza e figuras míticas que representavam bem o Universo a sua volta [...]. A criação do mundo segundo esse povo é descrita no Popol Vuh, uma coleção épica de lendas, que conta o início como sendo a escuridão, onde vivia Peteu e Gucumatz [...], os deuses primordiais, que criam o mundo apenas com seu pensamento, e assim todos os animais, que serviriam para tomar conta da Terra e adorar os criadores. Mas vendo que os animais não podiam falar e não conseguiam louvá-los, os deuses decidem criar os homens. Nesse mito, o homem inicialmente é criado a partir do barro, mas o resultado não sendo bom leva os criadores a esculpirem o homem em um pedaço de madeira, as pessoas criadas sabiam falar, e se procriaram, mas eram desprovidos de alma, sangue, memória e logo se esqueceram de adorar seus deuses, que decidem destruir sua criação com um dilúvio (Pupul Vuh). Enfim, o homem é criado do milho, o que é justificável pela prática agrícola dessa civilização, já que o milho era sua principal fonte de alimentação. Uma curiosidade sobre a criação do Universo dos maias é o fato de suas habilidades com o calendário ter proporcionado, segundo suas crenças, calcular o momento exato da criação do Universo, aurora do dia 13 de agosto de 3112 a.C. [...]

Para os maias o Universo era representado por uma grande e sagrada árvore chamada de Yakché, que estaria situada no centro do mundo, seus ramos sustentam o céu e suas raízes se estendem por todo submundo. Os quatro cantos da Terra, norte, sul, leste e oeste, estão representados na figura pelo branco, amarelo, vermelho e preto respectivamente. E esse cosmo era governado pelo deus supremo Itzam Na, por Xibalba (deus do submundo), Cab (deus da Terra), Caan (deus do céu).

Cosmologia Babilônica

Os babilônicos viveram na região da mesopotâmia, em uma planície de terras férteis entre os rios Tigre e Eufrates. Eles desenvolveram uma forma de escrita que usava símbolos cuneiformes e seus conhecimentos eram registrados em blocos de argila úmida, que eram entalhados e colocados ao sol para assarem, muitos desses blocos sobreviveram até os dias de hoje. Dentre os povos mais antigos os babilônios tinham significativa vantagem no conhecimento matemático e astronômico. Eles desenvolveram uma sofisticada matemática de base 60, que ainda hoje sobrevive na nossa divisão da circunferência em 360 graus, e na nossa hora em 60 minutos e minuto em 60 segundos. Muitos anos mais tarde esse conhecimento matemático foi usado por Ptolomeu em seus cálculos astronômicos.

Os babilônicos fizeram sistemáticos registros de observações astronômicas em blocos de argila, observavam o movimento das estrelas e dos planetas, e com isso construíram um conhecimento sofisticado sobre o movimento do Sol, da Lua e dos planetas visíveis a olho nu. Eles sabiam que a velocidade do Sol não era constante, além disso, podiam prever as fases da lua e os eclipses solares e lunares. Entretanto, todo esse conhecimento astronômico não foi desenvolvido por um interesse científico, mas sim místico. Eles acreditavam que o movimento dos astros influenciava o que acontecia aqui na Terra, eles são considerados os criadores da astrologia.

Apesar de toda a habilidade com a astronomia, eles não construíram um modelo cosmológico para tentar explicar os movimentos observados, apesar disso, a cosmologia babilônica era a mais elaborada da sua época, muito mais elaborada que a egípcia. O mito mais antigo elaborado para explicar a origem do Universo foi criado por esse povo há cerca de 4000 anos [...], conhecido como Enuma Elish. Segundo esse mito no início existiam apenas dois deuses primordiais que era um tipo de água primitiva, Apsu, o pai, que representava as águas primordiais abaixo da Terra e Tiamat, a mãe, que representava o mar. Dessas águas vão surgindo diversos deuses, filhos de Apsu e Tiamat, mas logo em seguida os deuses primordiais se arrependem de sua criação e decidem matar todos os deuses. Mas Apsu é morto por um de seus filhos. Tiamat reúne um exército de feras e bestas contra eles, ela é derrotada, em uma batalha épica, por Marduk, o criador dos céus, da terra, dos homens e de todas as outras coisas. [...]

Os babilônios acreditavam que o Universo estava dividido em seis níveis com três firmamentos e três terras: dois firmamentos acima do céu, o firmamento das estrelas, a terra, o submundo do Apsu, e o submundo dos mortos. Aparentemente eles acreditavam que a Terra era circular e cercada pelos oceanos, além deles existiam montanhas intransponíveis que sustentava a abóboda celeste, que era constituída de um metal muito forte e pesado. Além das montanhas existiria um mar cósmico e ao norte delas existiria um túnel para o espaço exterior e que também se ligaria a duas portas, uma no Oriente e outra no Ocidente, que era usado para explicar o movimento aparente do Sol, uma vez eles acreditavam que ele surgia da porta oriental, viaja abaixo dos céus metálicos e, em seguida, sai pela porta ocidental, e passa as noites viajando através do túnel.

[...]

SKOLIMOSKI, K.; ZANETIC, J. Mitos de criação: modelos cosmogônicos de diferentes povos e suas semelhanças. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ASTRONOMIA, 2., 2012, São Paulo. *Anais* [...]. São Paulo: Sociedade Astronômica Brasileira, 2012. p. 405-415. Disponível em: https://www.sab-astro.org.br/wp-content/uploads/2017/03/SNEA2012_TCO20.pdf. Acesso em: 20 ago. 2024.

Refletir e registrar



1. A partir das informações mencionadas no texto, cite um aspecto que distancia a estrutura de pensamento dos mitos da criação da cosmologia científica. Justifique sua resposta.
2. Podemos dizer que tanto a cosmologia científica quanto os mitos da criação necessitam de certa abstração para que possam ser compreendidos. Em que medida essas abstrações do pensamento se aproximam e/ou se afastam?
3. Embora os mitos da criação não sejam utilizados, atualmente, como explicações científicas sobre a origem e a evolução do Universo, podemos dizer que possuem significativa importância. Cite um aspecto que caracterize essa relevância.

Saiba mais

Considerando um Universo infinito, com diversas estrelas distribuídas de maneira homogênea por ele, como é possível o céu noturno parecer escuro aos nossos olhos durante a noite? Essa é uma maneira de descrevermos o **paradoxo de Olbers**, proposto por Heinrich Olbers (1758-1840). É possível interpretar esse paradoxo a partir de diferentes vieses, seja pela descrição matemática, seja pela análise de outros pressupostos acerca da estrutura do Universo.

Uma resolução possível para tal paradoxo é distinguir a infinitude do Universo em tempo e espaço. Quando falamos que o Universo é infinito, estamos considerando essa interpretação a partir do tamanho, ou seja, do espaço que ele permeia. Isso não implica dizer que o Universo ou os astros que o constituem também são infinitos no tempo. Podemos dizer que recebemos uma quantidade finita de luzes de galáxias e estrelas, uma vez que a luz emitida demora para chegar à Terra, já que a velocidade da luz é finita, embora seja muito alta, e que as distâncias também possuem valores astronômicos. Como exemplo, a *Proxima Centauri*, estrela mais próxima da Terra depois do Sol, está a uma distância de aproximadamente 4,2 anos-luz do nosso planeta. Assim, a luz emitida por essa estrela demora cerca de 4,2 anos para chegar à Terra. Podemos citar também a baixa densidade de estrelas e galáxias no Universo, que implica a possibilidade de regiões escuras no céu noturno.



Cleber Gonçalves

Foto tirada no Observatório do Pico dos Dias, mantido pelo Laboratório Nacional de Astrofísica, em Brazópolis, Minas Gerais.

Modelo Padrão da Cosmologia

O Modelo Padrão da Cosmologia é o mais aceito atualmente no meio científico para a descrição da evolução e da estrutura do Universo. Podemos dizer que existem quatro pilares importantes para a construção deste modelo teórico, sendo eles:

1. a ideia de que o Universo está em expansão;
2. a existência de um período de inflação cósmica;
3. a existência da radiação cósmica de fundo;
4. a presença da matéria escura e da energia escura.

É importante ressaltar que este modelo, assim como os outros modelos cosmológicos, não é capaz de explicar a origem do Universo. Sua construção é realizada levando em consideração o que ocorre instantes após a origem do Universo.

Teoria do Big Bang e a expansão do Universo

O Modelo Padrão da Cosmologia tem como base explicativa a teoria do Big Bang, que é uma decorrência do aprimoramento do modelo do “átomo primordial” proposto por Lemaître. Essa teoria busca explicar como as estruturas que observamos no espaço surgiram, retomando instantes posteriores à origem do Universo. Até o momento, não há uma teoria científica que explique a origem do Universo, apenas o que ocorre com ele instantes após o momento inicial. A teoria do Big Bang foi proposta por George Anthony Gamow (1904-1968), em 1948. A grande contribuição de Gamow foi a união das equações do modelo de Lemaître e as descobertas da física de partículas, assim, ele foi capaz de descrever o que ocorreu nos estágios iniciais da evolução do Universo.

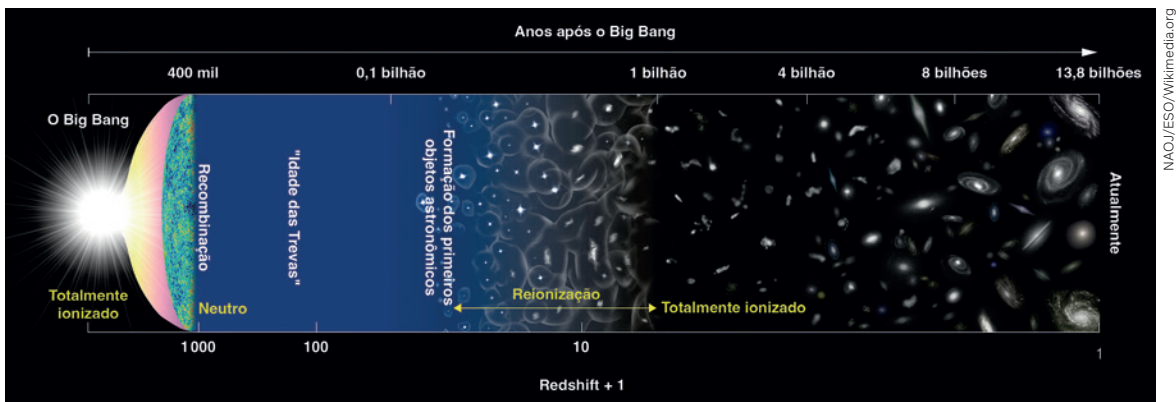
Os modelos cosmológicos modernos consideram que o estado inicial do Universo era caracterizado por densidades e temperaturas tão altas que as leis da Física que desenvolvemos até hoje não são capazes de descrever o comportamento da matéria e da energia. Nesse momento, tudo o que conhecemos atualmente estaria concentrado em um ponto ainda menor que o núcleo atômico. Imagine o quanto essa situação era extrema: a massa de todos os planetas, estrelas, galáxias etc. confinada em um local menor que o próprio átomo! A esse estado inicial damos o nome de **singularidade** e não há explicação adequada para descrever o motivo de sua existência, nem por que a matéria saiu desse estado e evoluiu para o que hoje entendemos por Universo. De certa forma, podemos dizer que a origem do Universo ainda é um mistério para a Ciência.

A teoria do Big Bang possui alguns pilares que a caracterizam. Podemos dizer que um dos mais fundamentais é a noção de que o Universo está em constante expansão. Essa ideia já havia sido proposta em diversos outros modelos cosmológicos, conforme vimos anteriormente. Além disso, há uma evidência experimental que fundamenta essa parte da teoria e que é descrita pela lei de Hubble.



Fremont Davis/Smithsonian Institution Archives, Washington

Físico George Gamow.



Representação esquemática da evolução do Universo a partir do Big Bang.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Se liga

O nome Big Bang pode gerar a interpretação de que houve uma grande explosão inicial na origem do Universo, no entanto, de acordo com a teoria, o correto é compreendermos como uma grande expansão.

Lei de Hubble

Em 1932, Edwin Hubble foi capaz de mostrar, a partir de dados experimentais, que as galáxias possuem velocidade de afastamento em relação à Terra. Além disso, Hubble chegou a uma equação que relaciona a velocidade de afastamento (v) de uma certa galáxia com a dependência da distância que ela se encontra da Terra (r). Matematicamente, essa relação é expressa por:

$$v = H_0 \cdot r$$

Na equação acima, a velocidade de afastamento geralmente é expressa em unidade de quilômetro por segundo (km/s); a distância entre galáxia e a Terra (r) é fornecida em megaparsec (Mpc); e a constante de Hubble (H_0) possui unidade de km/s · Mps.

O **megaparsec** é uma unidade de distância utilizada para mensurar distâncias astronômicas e é equivalente a aproximadamente $3 \cdot 10^{22}$ m.

O **parsec** (pc) é uma unidade de medida utilizada com frequência na Astronomia para a medição de objetos astronômicos que estejam a uma longa distância da Terra. Sua definição envolve a interpretação trigonométrica que considera a posição relativa dos astros. A palavra parsec tem origem da junção dos termos “paralaxe” e “segundo”, pois é definido pela paralaxe de 1 segundo de arco que relaciona o Sol, a Terra e um objeto astronômico, em geral uma estrela ou planeta, que se deseja medir a distância. Portanto, para compreendermos o que é o parsec, precisamos compreender, primeiramente, o que é a paralaxe.

A **paralaxe** é definida como a diferença da posição aparente de um objeto quando observado de dois pontos distintos. Uma maneira simples de compreender seu significado é fazer o seguinte experimento: estique seu braço na altura do seu rosto e aponte seu polegar para cima; depois, tente observar um objeto em repouso apenas com o olho direito aberto. Repita o procedimento apenas com o olho esquerdo aberto. Ao fazer isso, você experimenta a ideia de paralaxe, pois parece que o objeto que você observou mudou de lugar, no entanto, sabemos que este objeto estava em repouso em relação a você. Agora, pense que os nossos olhos seriam telescópicos que tentam observar as estrelas: a posição que observaremos quando a Terra está em uma extremidade da sua órbita em relação ao Sol será diferente de quando estiver no extremo oposto.



Imagem que representa o experimento sugerido para a compreensão do conceito de paralaxe.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Seguindo a observação sugerida, na Astronomia, não utilizamos nosso polegar como referencial para a observação, e sim uma estrela próxima. A partir dela, mede-se a distância do objeto desejado. O parsec é a distância que se obtém quando o ângulo de paralaxe é igual a 1 arco-segundo.

Note que, na imagem, a distância entre a Terra e o Sol é representada como 1 UA, ou seja, uma unidade astronômica. Essa é a distância média aproximada entre a Terra e o Sol e equivale a cerca de 150 milhões de quilômetros ou 8 minutos-luz. Lembre-se de que 1 minuto-luz é a distância que a luz percorre em 1 minuto.

Podemos compreender a relação entre o afastamento das galáxias e a inflação do Universo através de uma analogia. Pense no que ocorre quando enchemos uma bexiga. Se colarmos adesivos na superfície dessa bexiga, perceberemos que, conforme a bexiga aumenta de volume quando a enchemos, a distância entre os pontos dos adesivos também aumenta. Podemos entender o que ocorre com o Universo de maneira semelhante: conforme o Universo se expande, ocorre o aumento da distância entre as galáxias que estão contidas nele.

A constante de Hubble pode ser considerada uma constante física um pouco distinta das que já estudamos. Até agora, sempre que nos referíamos a uma constante, era possível apresentar um valor fixo e bem delimitado para ela, afinal, tratava-se de uma constante física. Podemos utilizar como exemplo a constante da gravitação universal de Newton, cujo valor aproximado é igual a $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$. Em geral, essas constantes são obtidas a partir de dados experimentais. Esse é um dos motivos pelos quais a constante de Hubble se difere das outras que estudamos: os dados experimentais necessários para a definição dessa constante ainda não são completamente estabelecidos. Para coletar dados mais aprimorados e que permitam o estabelecimento dessa constante de forma mais precisa, o Telescópio Espacial James Webb foi lançado em 2021 – valendo dizer que esse não foi seu único objetivo. Se considerarmos o valor da constante obtida a partir de dados do telescópio Hubble, esse valor é igual a $72 \text{ km/s} \cdot \text{Mpc}$.

Efeito Doppler relativístico

Uma consequência do fenômeno da expansão descrito pela lei de Hubble é a observação do efeito Doppler relativístico, que também pode ser denominado como desvio para o vermelho. De maneira semelhante ao efeito Doppler sonoro, esse efeito, analisado do ponto de vista relativístico, descreve a variação aparente do comprimento de onda da radiação devido à expansão do Universo. Considerando que o Universo está em expansão, a radiação luminosa que chega à Terra tem comprimento de onda desviada para o vermelho, uma vez que a fonte luminosa se afasta do nosso referencial (no caso, a Terra). Caso a situação contrária acontecesse, ou seja, se a fonte luminosa se aproximasse da Terra, observaríamos um desvio da luz para o comprimento de onda do azul. Matematicamente, esse efeito é descrito por

$$f_{\text{observado}} = f_{\text{fonte}} \sqrt{\frac{1 \pm \frac{v}{c}}{1 \mp \frac{v}{c}}}$$

Fontes: (1) MCGRAW, J. *et al.* Angles and range: initial orbital determination with the Air Force Space Surveillance Telescope (AFSST). *ResearchGate*, Novo México, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235158031_Angles_and_Range_Initial_Orbital_Determination_with_the_Air_Force_Space_Surveillance_Telescope_AFSST. Acesso em: 4 set. 2024. (2) RIESS, A. G. My path to the accelerating universe. *Nobelprize*, Baltimore, 8 dez. 2011. Disponível em: https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/riess_lecture.pdf. Acesso em: 4 set. 2024.

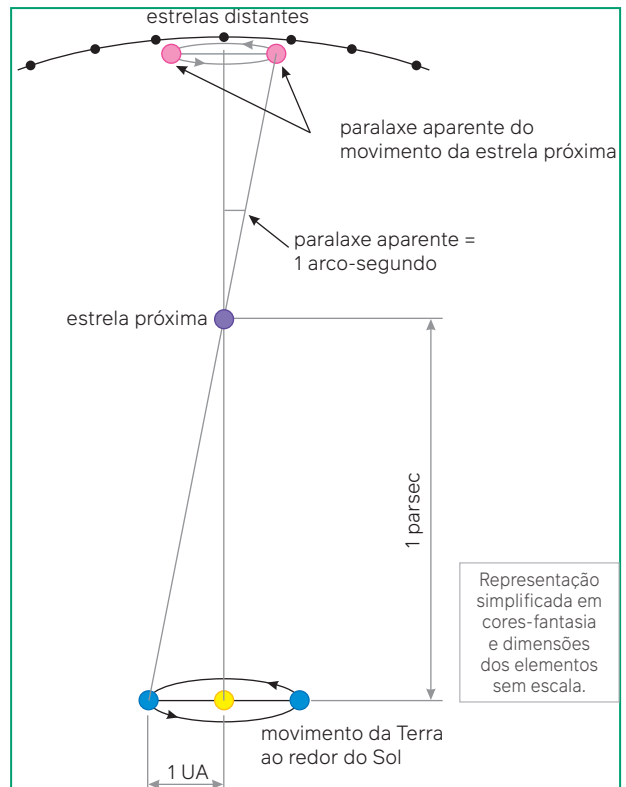
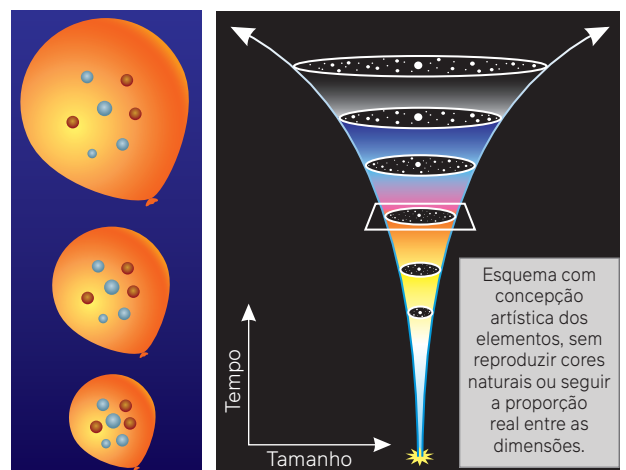


Imagem que representa a geometria do problema para a definição de 1 parsec. (1)



Representação esquemática da expansão do Universo e do distanciamento das galáxias. (2)



Fotografia de experimento representando a expansão do Universo.

Sendo que $f_{\text{observado}}$ é a frequência detectada pelo observador, f_{fonte} é a frequência emitida pela fonte, v é a velocidade de afastamento ou aproximação da fonte emissora e c é a velocidade da luz no vácuo. Os sinais no numerador e no denominador são definidos a partir da aproximação ou afastamento do emissor. Caso haja o afastamento da fonte, então, o sinal do numerador é negativo e do denominador é positivo; o contrário ocorre para a aproximação. Além disso, considerando que a velocidade de propagação da onda é igual ao produto do comprimento de onda pela frequência, podemos reescrever a equação em termos do comprimento de onda dos sinais emitidos e detectados. Para o caso do afastamento da fonte emissora e do observador, temos:

$$\frac{1}{\lambda_{\text{observado}}} = \frac{1}{\lambda_{\text{fonte}}} \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}}$$

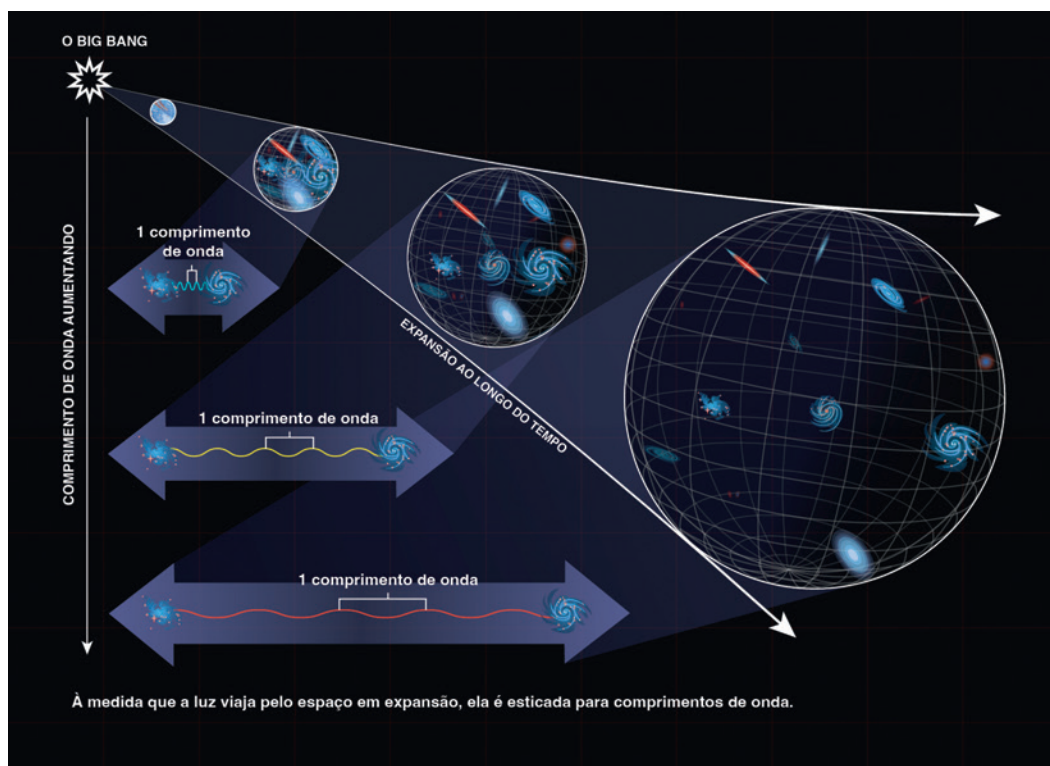
Já para o caso de aproximação, expressamos:

$$\frac{1}{\lambda_{\text{observado}}} = \frac{1}{\lambda_{\text{fonte}}} \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}}$$

O fenômeno do desvio da luz para comprimento de ondas próximas ao vermelho é conhecido como *redshift*, enquanto o desvio para comprimentos de onda próximas ao azul é conhecido como *blueshift*.



Infográfico clicável
Expansão do Universo



Leah Hustack (TSTSci), ESA, NASA

Representação esquemática do *redshift*.

Esquema com concepção artística dos elementos, sem reproduzir cores naturais ou seguir a proporção real entre as dimensões.

Atividades comentadas

1. A partir da lei de Hubble, é possível estimar a idade do Universo. Utilize a equação estudada para deduzir a idade do Universo.

Resolução

Uma das maneiras de se estimar a idade do Universo é a partir da lei de Hubble.

Considerando que a constante de Hubble tenha o valor de $71 \text{ km/s} \cdot \text{Mpc}$, podemos dizer que uma galáxia que esteja a 10 Mpc de distância em relação à Terra terá uma velocidade de afastamento igual a 710 km/s . Além disso, é fundamental relembrarmos a definição de velocidade, ou seja, a taxa de variação da distância em relação ao tempo. Portanto, temos duas relações físicas:

1. lei de Hubble: $v = H_0 \cdot r$

2. definição de velocidade média: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

Comparando as equações acima, podemos dizer que a constante de Hubble tem unidade inversa do tempo. Assim, podemos estimar a idade do Universo considerando que ela pode ser calculada pelo inverso da constante de Hubble, pois, no caso, $r = \Delta s$, então, $H_0 = \frac{1}{\Delta t} \Rightarrow t = \frac{1}{H_0}$

É importante relembrarmos que 1 Mpc é aproximadamente igual a $3 \cdot 10^{19}$ km. Assim:

$$t = \frac{1}{71 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot \text{Mpc}} \Rightarrow t = \frac{1}{71 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot 3 \cdot 10^{19} \text{ km}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = \frac{3 \cdot 10^{19}}{71} \text{ s}$$

Considerando que 1 ano tem $3,15 \cdot 10^7$ segundos, temos

$$t = \frac{3 \cdot 10^{19}}{71} \text{ s} \cdot \frac{1}{3 \cdot 15 \cdot 10^7 \text{ s}} \text{ ano}$$

$\therefore t \cong 13,7$ bilhões de anos

- 2.** Considere a situação hipotética de quatro astronautas realizando suas missões espaciais fora da Terra. Eles desejam entrar em contato com o nosso planeta. Para tanto, enviam sinais de mesma frequência. Cada astronauta possui uma velocidade diferente em relação à Terra. Determine os valores das frequências dos sinais recebidos em função da frequência emitida por cada um deles. Para tanto, considere que: o astronauta **A** tem velocidade de afastamento em relação à Terra igual a $0,3c$; o astronauta **B** tem velocidade de mesma magnitude, mas está se aproximando do planeta; o astronauta **C** se afasta do planeta com velocidade igual a $0,9c$; e o astronauta **D** se aproxima da Terra com velocidade igual a $0,9c$.

Resolução

Para resolvermos essa questão, basta determinarmos a frequência detectada por um observador (f_{obs}) na Terra. Para tanto, utilizaremos a seguinte equação:

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \sqrt{\frac{1 \pm \frac{v}{c}}{1 \mp \frac{v}{c}}}$$

Para o caso dos sinais emitidos pelos astronautas em aproximação, temos:

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}}$$

Frequência observada do sinal emitido pelo astronauta **B** ($0,3c$):

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \sqrt{\frac{1 + \frac{0,3c}{c}}{1 - \frac{0,3c}{c}}} \Rightarrow f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \cdot \sqrt{\frac{1 + 0,3}{1 - 0,3}}$$

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \sqrt{\frac{1,3}{0,7}} \Rightarrow f_{\text{obs}} = 1,36 \cdot f_{\text{fonte}}$$

Frequência observada do sinal emitido pelo astronauta **D** ($0,9c$):

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \sqrt{\frac{1 + \frac{0,9c}{c}}{1 - \frac{0,9c}{c}}} \Rightarrow f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \cdot \sqrt{\frac{1 + 0,9}{1 - 0,9}}$$

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \sqrt{\frac{1,9}{0,1}} \Rightarrow f_{\text{obs}} = 4,35 \cdot f_{\text{fonte}}$$

Já para o caso do afastamento dos astronautas, teremos:

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}}$$

Frequência observada do sinal emitido pelo astronauta **A** ($0,3c$):

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \sqrt{\frac{1 - \frac{0,3c}{c}}{1 + \frac{0,3c}{c}}} \Rightarrow f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \cdot \sqrt{\frac{1 - 0,3}{1 + 0,3}}$$

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \sqrt{\frac{0,7}{1,3}} \Rightarrow f_{\text{obs}} = 0,64 \cdot f_{\text{fonte}}$$

Frequência observada do sinal emitido pelo astronauta **C** ($0,9c$):

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \sqrt{\frac{1 - \frac{0,9c}{c}}{1 + \frac{0,9c}{c}}} \Rightarrow f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \cdot \sqrt{\frac{1 - 0,9}{1 + 0,9}}$$

$$f_{\text{obs}} = f_{\text{fonte}} \sqrt{\frac{0,1}{1,9}} \Rightarrow f_{\text{obs}} = 0,23 \cdot f_{\text{fonte}}$$

Atividades propostas



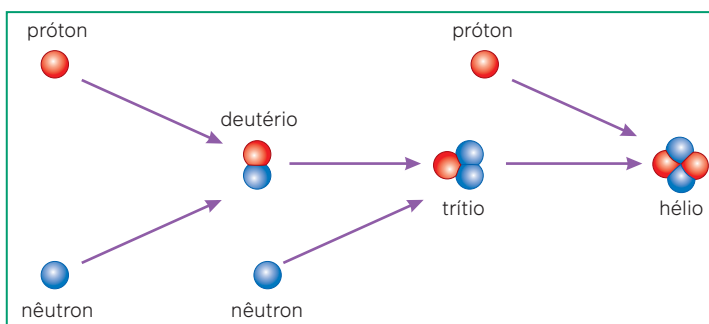
- A unidade de medida da constante de Hubble é $\text{km/s} \cdot \text{Mpc}$ e é utilizada na lei de Hubble para igualar as grandezas proporcionais envolvidas na equação. Considerando essa lei e a sua constante, podemos afirmar corretamente que, a cada megaparsec (Mpc) de distância, as galáxias se:
 - afastam da Terra com velocidade mensurada em Mpc/s .
 - aproximam da Terra com velocidade mensurada em Mpc/s .
 - afastam da Terra com velocidade mensurada em km/s .
 - aproximam da Terra com velocidade mensurada em km/s .
- A galáxia de Andrômeda se encontra a aproximadamente $0,8$ Mpc da Terra. Determine a velocidade de afastamento dessa galáxia considerando que a constante de Hubble é igual a $71 \text{ km/s} \cdot \text{Mpc}$.
- Uma nave emite um sinal luminoso cujo comprimento de onda é igual a 700 nm . Essa nave se desloca com uma velocidade igual a $0,2c$, onde c é a velocidade da luz no vácuo ($c = 3 \cdot 10^5 \text{ km/s}$). Considerando essa situação, determine qual é o comprimento de onda detectado na Terra considerando o afastamento dessa nave.

4. Utilize os dados do exercício anterior para determinar o comprimento de onda detectado na Terra caso a nave estivesse se aproximando do planeta.

Big Bang e a nucleossíntese primordial

Além da expansão do Universo, existem outros dois pilares que caracterizam a teoria do Big Bang: a nucleossíntese primordial e a radiação cósmica de fundo.

A **nucleossíntese primordial** é a resposta encontrada a um dos primeiros questionamentos de George Gamow para a formulação da teoria do Big Bang: qual é a origem dos elementos químicos que compõem o Universo? Ela se refere aos instantes iniciais da evolução do Universo, e utiliza o modelo padrão de física de partículas para descrever que, nos primeiros instantes do Universo, ocorreu a formação de alguns elementos, como os isótopos do hidrogênio (próton, deutério e trítio), os isótopos do hélio (hélio-3 e hélio-4) e o lítio (Li). Esses elementos foram posteriormente agregados em estruturas maiores, como as nebulosas, e são sintetizados em elementos mais pesados a partir da formação de estrelas.



Reinaldo Vignati

Fonte: SOUZA, R. E. Nucleossíntese Primordial. In: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Disciplina de Introdução à Cosmologia, São Paulo, [20--]. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/intrcosm/Glossario/NucleosPrim.html>. Acesso em: 4 set. 2024.

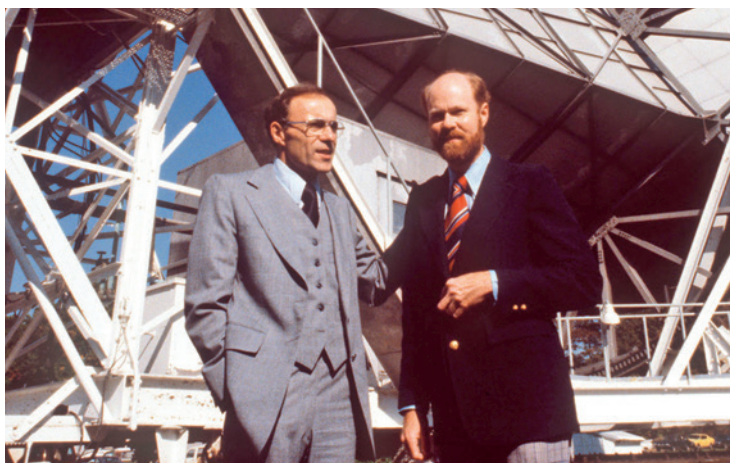
Esquema com concepção artística dos elementos, sem reproduzir cores naturais ou seguir a proporção real entre as dimensões.

Exemplo de reação que ocorreu durante a nucleossíntese primordial.

Big Bang e a radiação cósmica de fundo

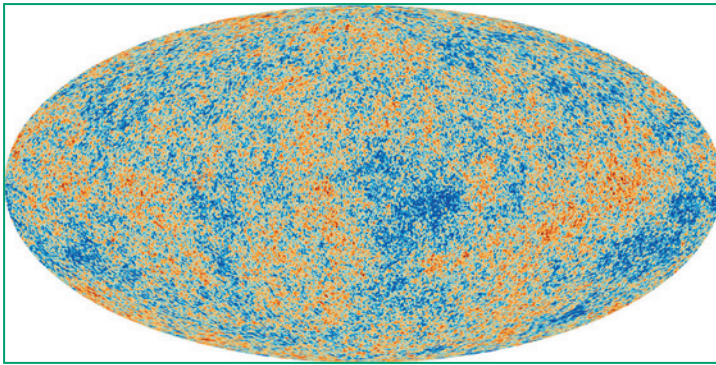
A **radiação cósmica de fundo**, também conhecida como radiação cósmica de micro-ondas (CMB, da sigla em inglês para *Cosmic Microwave Background*), é uma espécie de impressão digital do Universo emitida cerca de 380 mil anos após o início do Big Bang. A existência dessa radiação eletromagnética foi prevista pela teoria elaborada por Gamow, em 1948. A detecção da radiação cósmica de fundo remete à época em que o Universo era mais denso e quente, com temperaturas próximas de 3000 K. Conforme a expansão aconteceu, a temperatura do Universo diminuiu. A estimativa teórica era a de que haveria uma radiação, com comprimento de onda entre os das micro-ondas e ondas de rádio, que estaria relacionada com a temperatura do Universo após esse resfriamento, estimado para 3 K, ao final. Essa radiação tem a característica de preencher todo o Universo de maneira praticamente homogênea.

A detecção experimental da radiação cósmica de fundo ocorreu, em 1964, por Robert W. Wilson (1936-) e Arno Penzias (1933-2024), rendendo aos dois o prêmio Nobel de Física. Uma curiosidade sobre esse fato é que Wilson e Penzias detectaram a radiação cósmica de fundo por acaso, enquanto desenvolviam outro experimento com novas antenas de comunicação. Ocorreu que, durante os testes, os pesquisadores sempre detectavam um sinal fraco que vinha de todas as regiões em que apontavam a antena. Ambos repetiram o experimento diversas vezes pois acreditavam que havia algum erro no aparato, chegando a cogitar até que os pombos da região poderiam ter interferido no instrumento ao fazerem ninhos ou defecarem na antena. Ao reproduzirem o experimento, o sinal continuou a ser detectado, assim, com o auxílio de outros cosmólogos, chegaram à conclusão de que o sinal detectado era, na verdade, a radiação cósmica de fundo, prevista por Gamow.



Vencedores do Prêmio Nobel de Física, em 1978, Arno Penzias e Robert Wilson.

AP Photo/Imageplus



Esquema com concepção artística dos elementos, sem reproduzir cores naturais ou seguir a proporção real entre as dimensões.

Mapeamento da radiação cósmica de fundo, observada pelo satélite Planck, indicando variações de temperatura. Os mapas são construídos em cores falsas para permitir que nossos olhos percebam as pequenas diferenças de temperaturas em micro-ondas. Cores próximas do laranja indicam temperaturas mais elevadas, enquanto as mais próximas do azul são mais frias.

Expansão acelerada do Universo, a energia escura e a matéria escura

Em 1998, três astrofísicos estadunidenses foram responsáveis por colocar uma atualização na nossa concepção de Universo. Até o momento, já se tinha a noção de que o Universo estava em expansão pela teoria do Big Bang, no entanto, acreditava-se que essa expansão estaria desacelerando com o tempo. Saul Perlmutter, Brian Schmidt e Adam Riess descobriram que, na verdade, havia uma aceleração, descoberta realizada após a identificação dessa expansão a partir da observação da medição da distância de supernovas. Os astrofísicos receberam o prêmio Nobel, em 2011, por suas descobertas. A expansão acelerada do Universo ainda não possui uma explicação fechada, no entanto, foi a partir dela que surgiu a noção de **energia escura**, uma forma de energia que seria a responsável por causar a aceleração, como uma oposição à gravidade em uma espécie de pressão negativa. O nome energia escura é utilizado pelo fato de não ser possível mensurar por equipamentos esse tipo de energia, já que não emite radiação em nenhuma faixa do espectro eletromagnético. Além da energia escura, há também a **matéria escura**. Até o momento, o que se sabe sobre a matéria escura é que ela não interage com a matéria normal, apesar de gerar efeitos gravitacionais que podem ser observados. Uma evidência experimental da existência da matéria escura é a análise da velocidade de rotação de galáxias. O resultado esperado dessa mensuração era que a velocidade teria um decréscimo com o afastamento em relação ao centro, mas o que se observa é o aumento dessa grandeza. A energia escura é distribuída de maneira uniforme e com densidade constante no espaço, enquanto a matéria escura é assim chamada porque apresenta flutuações na sua densidade no espaço.

A compreensão sobre a energia escura ainda é muito incipiente, sendo um dos grandes mistérios da Ciência, junto da matéria escura. Estima-se que cerca de 73% do Universo é composto pela energia escura, e 23% pela matéria escura, restando apenas 4% de matéria "normal", conforme conhecemos e sabemos descrever. Em um primeiro olhar, esses dados podem soar um tanto quanto desanimadores, pois tudo o que sabemos seria aplicável a apenas 4% do Universo. Esse não necessariamente é um problema, pois, no meio científico, a dúvida e o desconhecimento podem ser considerados excelentes combustíveis para novas descobertas.

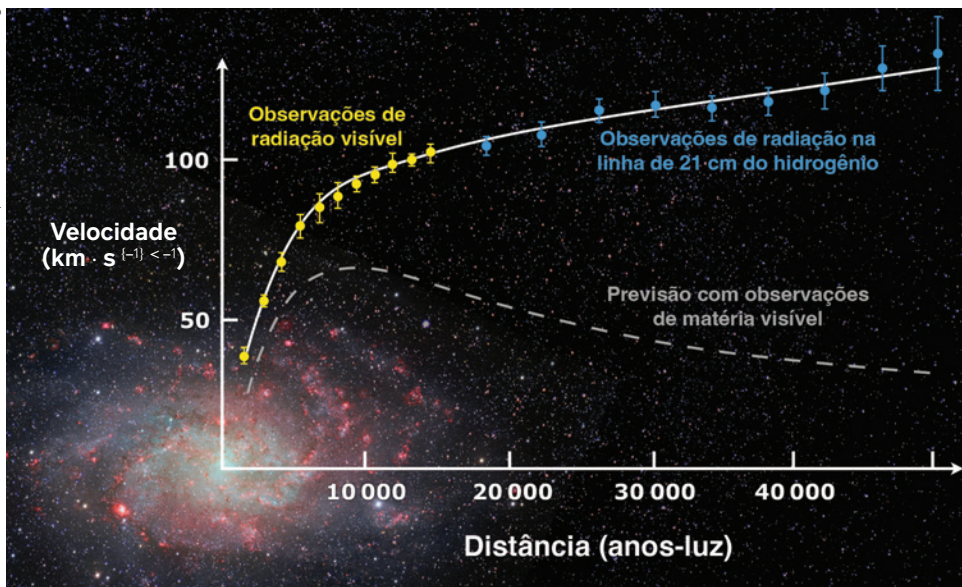


Foto da galáxia M33 com gráfico superposto em um diagrama de velocidade de estrelas em relação à distância em anos-luz. Os pontos amarelos representam medidas realizadas no visível, já os pontos em azul indicam medidas realizadas em ondas de rádio de 21 cm. A linha branca contínua é uma interpolação dos dados experimentais, e a linha tracejada branca é uma velocidade estimada.

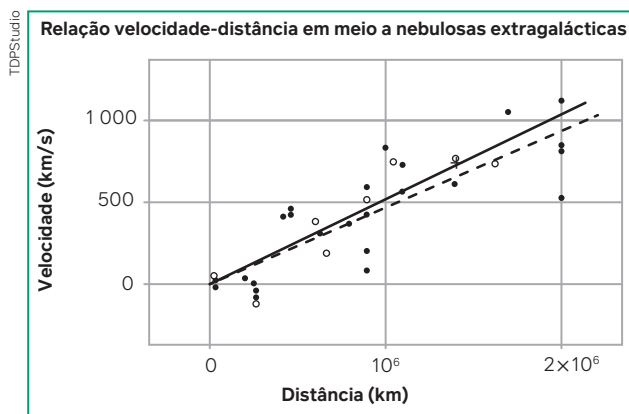
A tensão de Hubble, ou a constante que não é uma constante

Estudamos, durante esta unidade, a constante de Hubble, medida que representa o aumento da velocidade de galáxias em megaparsecs. Tendo como base esse tema, leia o texto a seguir.

Como se explica que o valor da constante de Hubble tem se modificado?

Na cosmologia, um parâmetro importante é a chamada constante de Hubble, que como o título deste texto já informa, não é uma constante. O seu valor varia com o tempo, mas para as escalas de tempo características da humanidade, a sua variação é desprezível [...]. Alguns autores preferem utilizar o termo parâmetro de Hubble, mas o termo constante de Hubble é a mais utilizada, e não costuma causar confusões.

A constante de Hubble apareceu na literatura científica em um artigo de Edwin Hubble, em 1929, que ao observar galáxias distantes, obteve um resultado de que elas estavam sempre se afastando da nossa Galáxia, com a velocidade de afastamento aumentando com a distância.



O gráfico [...] sugere a existência de uma relação entre a velocidade de afastamento das galáxias (v) no eixo vertical, em função da sua distância (D) no eixo horizontal, algo como $v = HD$ [...]. Com a análise destas observações, Hubble obteve um valor de $H = 500 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$.

[...] A constante de Hubble está [relacionada] com a taxa de expansão do Universo. E quando falamos “taxa”, estamos falando por exemplo como algo varia em relação a alguma grandeza. A velocidade de um objeto é a taxa da variação de uma distância

percorrida em um certo intervalo de tempo, e a aceleração é a taxa da variação da velocidade em um certo intervalo de tempo. A constante de Hubble é expressa em $\text{km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$, como podemos interpretar esta taxa de variação? E variação do quê? Vamos considerar para simplificar que a constante de Hubble seja $100 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$. Podemos ler as unidades como “a taxa de variação da grandeza (km/s) a cada Mpc ”. A grandeza que varia é a velocidade (taxa de variação da distância pelo tempo) e estamos medindo como a velocidade varia quando variamos a distância. Isto quer dizer que a cada 1 Mpc de distância, a velocidade aumenta por $100 \text{ km}/\text{s}$. Se estamos medindo a taxa de variação da velocidade, então a constante de Hubble estaria medindo a aceleração? NÃO. Vamos imaginar para simplificar que a velocidade de expansão na lei de Hubble não varie com o tempo. Neste caso, considerando a equação que descreve um movimento sem aceleração podemos escrever $D = vt$, e utilizando a Lei de Hubble para a velocidade, obtemos $D = HDt$, logo $t = \frac{1}{H}$. Este valor fornece o tempo que decorreu desde o início quando os dois objetos estavam juntos até o instante que estavam separados pela distância D . Se consideramos que no início do Universo todos os objetos estariam em um único ponto, então $\frac{1}{H}$ forneceria (nesta aproximação) a idade do Universo e não a sua aceleração. É importante salientar que a nossa construção é aproximada, mas com uma análise mais cuidadosa utilizando as equações da Relatividade Geral, nos indicam que de fato a constante de Hubble, ou melhor a sua inversa $\frac{1}{H}$, está relacionado com idade do Universo. Desta forma, conhecendo o valor da constante de Hubble podemos determinar a idade do Universo.

Mas para determinarmos de forma adequada como varia a constante de Hubble com o tempo, necessitamos ter algumas informações importantes, em especial o que contém no Universo, e como estão distribuídos e qual a sua constituição. Atualmente, o modelo mais aceito para a descrição do Universo é o chamado modelo Lambda-CDM, que é um modelo baseado na Relatividade Geral, com o Universo constituído de matéria denominada ordinária (nossos átomos), da matéria escura (proposto pela primeira vez por Fritz Zwick em 1933) e da energia escura, detectada inicialmente em 1998 [...].

[...] Uma maneira de verificar a presença da matéria escura e a energia escura, é realizando simulações de como o Universo evoluiu logo após o seu início.

Com estas simulações podemos obter dados sobre estes momentos do Universo primitivo, e o mais importante, podemos observar as consequências destas simulações, observando o que denominamos Radiação Cósmica de Fundo (detectado acidentalmente pela primeira vez em 1965, por Arno Penzias e Robert Wilson, mas com previsão teórica da sua existência, obtida em 1948 por R. Alpher e R. Hermann. Penzias e Wilson receberam um Nobel pela descoberta, mas Alpher e Hermann não foram lembrados). Observado esta radiação, podemos obter informações mais precisas sobre a constante de Hubble.

[...] No entanto, o valor da constante de Hubble obtidas com medidas astronômicas (isto é, das galáxias), não são compatíveis com os dados obtidos pelo satélite Planck.

[...] Mas os dados obtidos pelo telescópio Hubble e recentemente confirmados pelo James Webb, não são compatíveis com os dados obtidos pelo satélite Planck e excluem a possibilidade de erros de calibração. Os dados recentes do James Webb, mostram que as medidas obtidas com o telescópio Hubble e as medidas obtidas com o telescópio James Webb são compatíveis.

[...] O modelo Lambda-CDM estando calibrado com os dados da radiação cósmica de fundo. É importante ressaltar que nos modelos utilizados em Lambda-CDM, são compatíveis com os dados da radiação cósmica de fundo, e também são compatíveis com modelos de formação de galáxias (pelo menos até as observações do James Webb, que indicam algumas possíveis discrepâncias entre a previsão do modelo e a observação de galáxias bem antigas). Isto implica que mudar os parâmetros do modelo Lambda-CDM pode trazer maiores discrepâncias com outros dados observacionais. E isto causa a chamada tensão de Hubble. Um tema bem atual na cosmologia.

Qual será a resposta correta? Ainda é muito cedo para que possamos ter uma resposta mais consensual, pois no momento existem diferentes propostas em estudos [...]. Em pouco mais de 100 anos, passamos de um Universo estático, para um Universo em expansão, e compreendendo um pouco mais sobre o nosso Universo, conseguimos descrever nosso Universo até um passado distante de dezenas de bilhões de anos, com grande precisão, graças ao

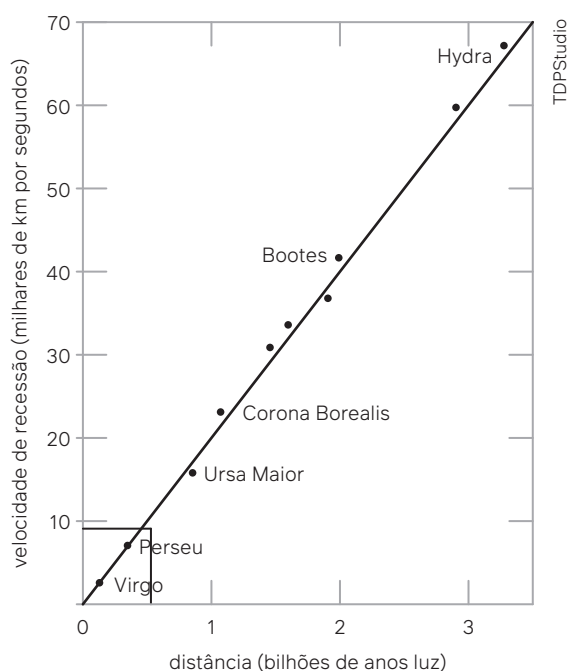
desenvolvimento de técnicas observacionais e modelos teóricos. [...]

[...] Então talvez a solução deste problema, pode trazer outros problemas para serem resolvidos, mas esta é forma que a Ciência tem avançado: a solução de problemas gerando novos problemas para serem estudados.

KOKUBUN, F. A tensão de Hubble, ou a constante que não é uma constante. *Centro de Referência para o Ensino de Física*, Rio Grande do Sul, 26 nov. 2023. Disponível em: <https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=a-tensao-de-hubble-ou-a-constante-que-nao-e-uma-constante>. Acesso em: 20 ago. 2024.

Trocando ideias

1. A partir do texto, o que é a tensão de Hubble e por que ela existe?
2. Considere que você tenha que obter a constante de Hubble apenas com o conjunto de dados presente no gráfico a seguir:



Encontre uma forma de determinar essa constante que seja coerente com a lei de Hubble estudada e com as unidades de medida cujos dados são apresentados no gráfico.

Atividades propostas



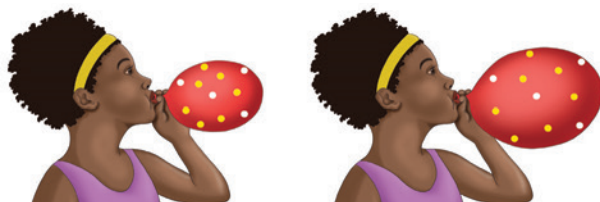
1. (Enem – 2019) Astrônomos medem a velocidade de afastamento de galáxias distantes pela detecção da luz emitida por esses sistemas. A lei de Hubble afirma que a velocidade de afastamento de uma galáxia (em km/s) é proporcional à sua distância até a Terra, medida em megaparsec. Nessa lei, a constante de proporcionalidade é a constante de Hubble (H_0) e seu valor mais aceito é de 72 (km/s)/Mpc. O parsec (pc) é uma unidade astronômica de distância, que vale, aproximadamente, $3 \cdot 10^{16}$ m. Observações astronômicas determinaram que a velocidade de afastamento de uma determinada galáxia é de 1 440 km/s.

Utilizando a lei de Hubble, pode-se concluir que a distância até essa galáxia, medida em km, é igual a:

- a) $20 \cdot 10^0$
- b) $20 \cdot 10^6$
- c) $6 \cdot 10^{20}$
- d) $6 \cdot 10^{23}$
- e) $6 \cdot 10^{26}$

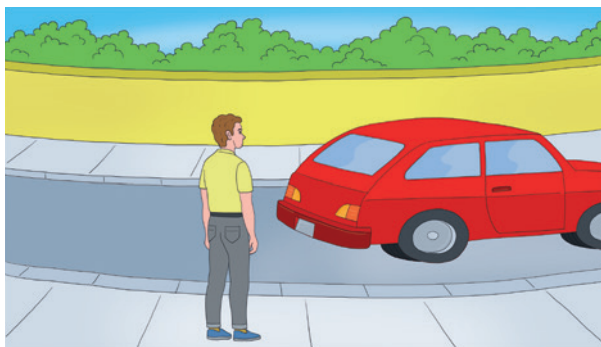
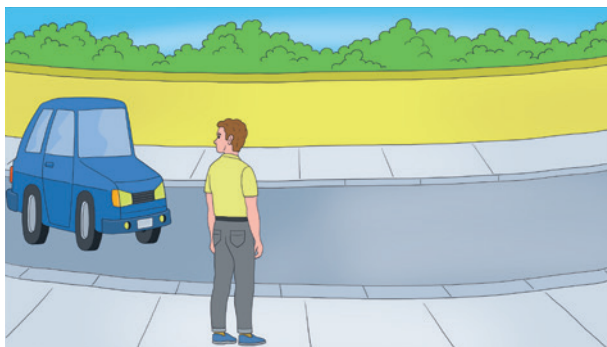
2. A lei de Hubble pode ser explicada utilizando uma analogia com adesivos colados em uma bexiga e o que acontece quando alguém a enche.

Explique em que medida essa analogia da bexiga é válida para ilustrar a lei de Hubble. Evidencie uma vantagem que essa analogia gera para o entendimento dessa lei.



Reinaldo Vignati

3. A tirinha a seguir usa um fenômeno físico em sua narrativa.



Reinaldo Vignati

Evidencie qual é este fenômeno físico e indique uma inconsistência física dessa tirinha quando comparada com a realidade.

- 4. Qual deve ser a distância média de uma galáxia cuja velocidade de afastamento é de aproximadamente 300 km/s em relação à Terra? Considere a constante de Hubble igual a 71 km/s · Mpc. Apresente o resultado em km. Lembre-se de que um megaparsec equivale a aproximadamente $3 \cdot 10^{19}$ km.
- 5. Uma certa estrela emite uma radiação cujo comprimento de onda é igual a 541,8 nm. Ao ser detectada, esse comprimento é igual a 602 nm. Nessa situação, determine a distância entre a estrela e o observador. Considere que a constante de Hubble é igual a 71 km/s · Mpc e que a velocidade de propagação da luz é igual a $3 \cdot 10^5$ km/s.
- 6. Um cientista observa que a medição da emissão de radiação de uma galáxia distante da Terra tem comprimento de onda duas vezes maior do que o comprimento esperado. Devido a essa observação, ele busca investigar qual era a distância que essa galáxia tinha em relação ao nosso planeta quando a radiação foi emitida. Considerando a lei de Hubble e o efeito Doppler relativístico, qual deve ser o valor da distância encontrada pelo cientista?

Recapitule

Neste capítulo, estudamos a evolução dos modelos cosmológicos, compreendendo que eles visam explicar a origem, a estrutura e a evolução do Universo e dos objetos que o compõem. No início do capítulo, investigamos como a necessidade de criar uma explicação para a origem do Universo pode ser encontrada em diferentes culturas, e como há uma diversidade significativa dos mitos da criação.

Posteriormente, investigamos como os modelos cosmológicos da Ciência evoluíram ao longo do tempo e como diferentes modelos tinham diferentes proposições, tais como Universo finito, infinito, em expansão ou estático. Estudamos também o Modelo Padrão da Cosmologia, pautado na teoria do Big Bang.

Vimos que, a partir deste modelo, podemos descrever o Universo como algo em expansão, evidenciado empiricamente pela lei de Hubble. Analisamos outras evidências e capacidades explicativas da teoria do Big Bang, tais como a nucleossíntese primordial e a existência da radiação cósmica de fundo. Observamos que o Universo não apenas está em expansão, mas em expansão acelerada, e analisamos a relação da energia escura e da matéria escura com essas observações. Enfatizamos, durante todo o capítulo, como o estudo sobre a evolução do Universo nos leva a muitas questões que ainda não foram completamente solucionadas pela Ciência.

Agora, com base no estudado neste capítulo, como você responderia às questões da página inicial?

Aparelhos de observação do céu e óptica geométrica



Imagem composta de quatro situações nas quais instrumentos ópticos de observação são utilizados. Em (A), um pesquisador observa microestruturas por um microscópio; em (B), uma estudiosa analisa o céu por um telescópio; em (C), crianças utilizam uma lupa para observar em detalhes um pequeno objeto; e em (D), uma montanhista usa um binóculo para visualizar um local distante.

Para refletir

1. A Física é marcada pela experimentação. Mas essa não é a única forma de produzir conhecimento sobre a natureza. Como alguém pode produzir conhecimento sobre os astros no céu?
2. Por que vemos um avião aparentemente pequeno quando ele está a grandes distâncias?
3. Por que diferentes lentes podem produzir imagens com tamanhos variados?

Objetivos do capítulo

- Compreender fenômenos ópticos.
- Analisar instrumentos de observação do céu e outros à luz da óptica geométrica.
- Avaliar os usos desses instrumentos no desenvolvimento científico.
- Construir um instrumento de observação do céu.
- Problematicar, com base nas astronomias culturais, o processo de colonização da Ciência.

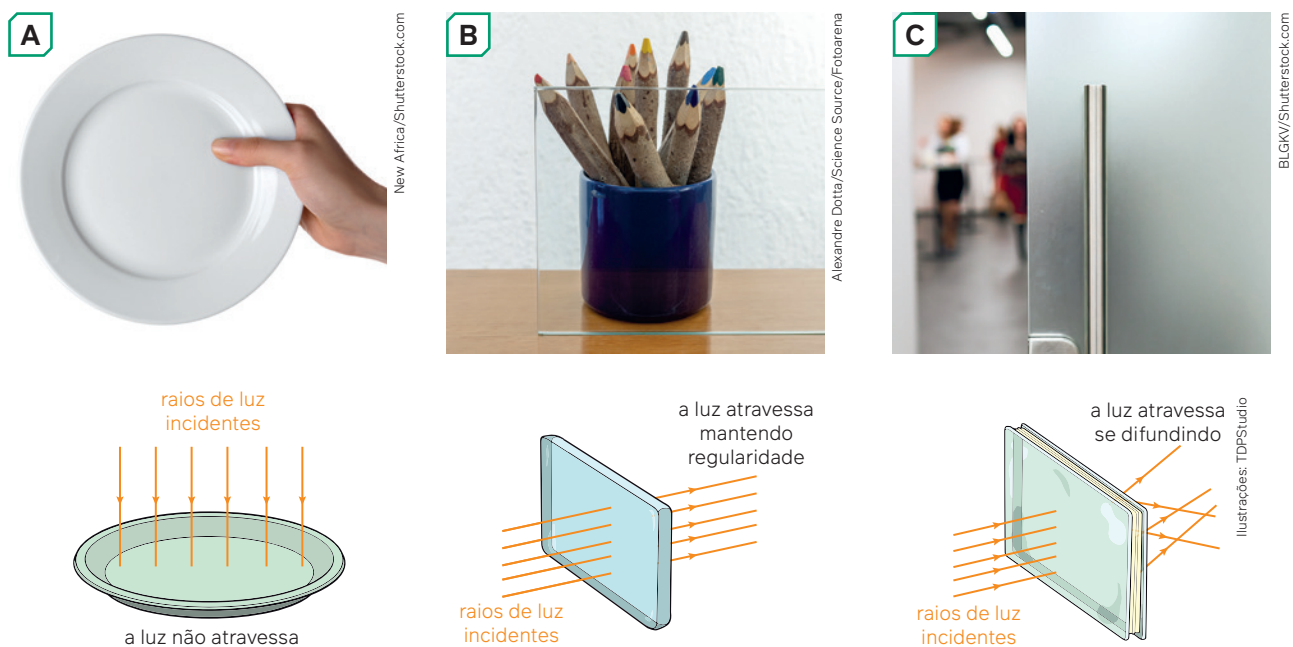
Fundamentos de Óptica Geométrica

A utilização de aparelhos ópticos de observação transformou o entendimento da humanidade sobre o céu e os microrganismos, além de ter permitido que grande parte da população com ametropias (distúrbios visuais como miopia, hipermetropia e outros) voltasse a ver adequadamente o mundo ao redor.

A história da óptica geométrica data de séculos antes da Era Comum. É bem possível que o interesse dos egípcios e dos babilônios por astronomia tenha levado a diversos conhecimentos sobre a luz e a óptica. Mas as versões antigas que provavelmente originaram o que agora estudamos como óptica geométrica são resultado de duas obras (*Óptica* e *Catóptrica*), ambas atribuídas ao matemático grego Euclides de Alexandria (~300 a.C.). Nessas obras são propostos diferentes teoremas sobre a visão e a reflexão da luz. Há também grande contribuição dos árabes, na Idade Média, desenvolvendo aparatos ópticos. Embora a ideia de que a luz fosse uma onda já tivesse sido proposta pelo matemático e físico neerlandês Christiaan Huygens (1629-1695), contemporâneo de Newton, foi só mais tarde, a partir do século XIX, que o estudo da luz como sendo uma onda eletromagnética se configurou como um novo campo: a óptica física (que veremos mais adiante neste livro). Neste capítulo, estudaremos a luz e os fenômenos ópticos de modo mais parecido com os primeiros estudos de Euclides, porém com conceitos e leis que foram aprimorados com o tempo e aplicados em situações de observação microscópica e telescópica.

Características dos meios de propagação da luz

Muitos corpos ao redor não permitem a passagem da luz visível. Olhamos uma parede e não conseguimos enxergar o que está do outro lado. Colocamos um caderno à nossa frente, e ele bloqueia a visão. Os corpos ou meios de propagação da luz que bloqueiam a passagem de luz são chamados de **opacos**. Mas alguns meios de propagação são **transparentes** e permitem a passagem quase completa da luz de modo regular, possibilitando que enxerguemos perfeitamente através deles. É o caso do vidro de uma janela ou da água pura em um aquário. Há, ainda, uma terceira classe de meios de propagação que permitem uma passagem parcial da luz, difundindo seus raios de modo não regular, como o papel vegetal ou o vidro jateado, configurando os corpos **translúcidos**. Por raios de luz, entendemos as muitas frentes da luz se propagando em um meio, e os representamos por segmentos de reta orientados.



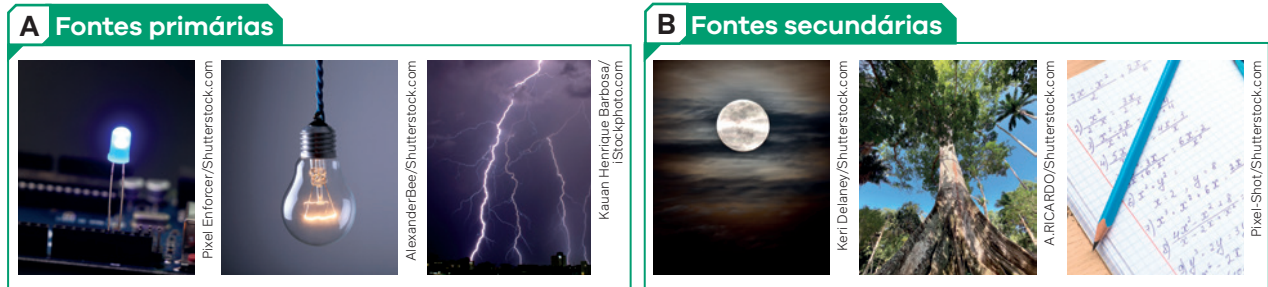
Exemplos de corpos que são meios de propagação com diferentes características ópticas: em (A), um prato de louça, opaco, e o indicativo de que raios incidentes não o atravessam; em (B), um bloco de vidro transparente, e o indicativo de que raios de luz regulares o atravessam; em (C), um bloco de vidro jateado, e o indicativo da difusão dos raios de luz que o atravessam.

Nas imagens, são mostrados exemplos das três características ópticas em corpos conhecidos. Um prato de louça não permite a passagem da luz e, por isso, é um corpo opaco. Já uma placa de vidro liso permite a passagem regular da luz, isto é, os raios de luz entram e saem paralelos, portanto, é um corpo transparente. Por fim, quando um feixe de raios da luz paralelos incide em um vidro jateado, os raios de luz do outro lado seguem direções aleatórias, difundindo a luz em um corpo translúcido.

Fontes e feixes de luz

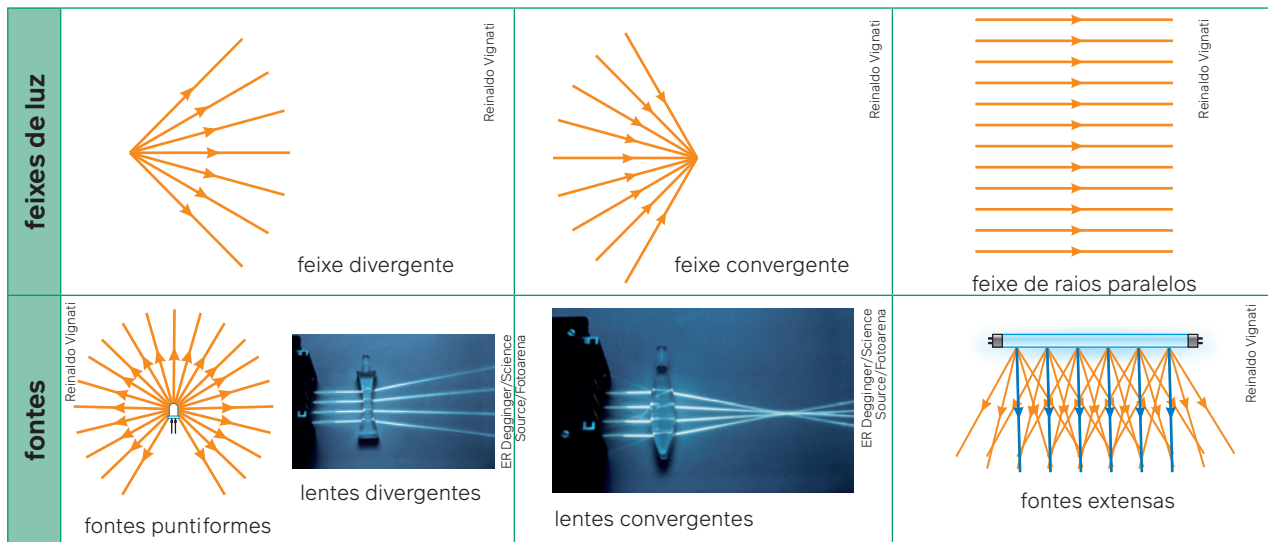
A visão é um dos cinco sentidos humanos. Assim como o olfato ou a audição, a visão é também uma porta de entrada de informação para a mente. Quando um corpo ou uma paisagem são vistos, essencialmente, isso significa que a luz do ambiente chegou à retina dos olhos. Então, para que enxerguemos, é necessário haver luz. Tudo o que vemos só é visto porque alguma fonte emitiu raios de luz que chegaram aos nossos olhos. A luz emitida por essa fonte pode ser de geração própria (fontes de luz primária) ou pode ser refletida pelos corpos (fonte de luz secundária).

As **fontes primárias** podem ser um LED aceso, uma lâmpada incandescente acesa, um raio em uma tempestade ou outras que emitem luz própria. Já as **fontes secundárias** são, por exemplo, a Lua vista no céu ou uma árvore de dia, que podem ser vistas por refletirem a luz do Sol, ou, ainda, a folha de um caderno iluminada pela lâmpada da sala de aula, ou qualquer outro corpo que só pode ser visto quando está refletindo a luz de outra fonte luminosa.



Em (A), fontes de luz primárias, como um LED aceso, uma lâmpada incandescente ou raios, e em (B), fontes de luz secundárias, como a Lua, uma árvore ou um caderno.

Classificamos as fontes luminosas em relação à sua natureza (primária ou secundária), mas podemos também classificá-las em relação às suas dimensões. Fontes luminosas que, em relação à situação estudada, têm dimensões desprezíveis, são chamadas de **fontes puntiformes**. Já as fontes luminosas cujas dimensões são relevantes para a situação estudada, são chamadas de **fontes extensas**, como pode ser observado no quadro a seguir.



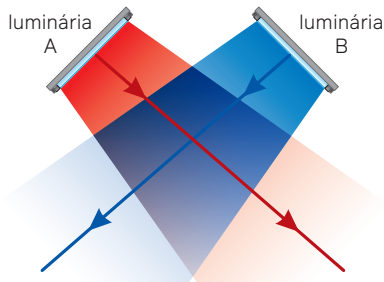
Tipos de de luz (acima), divergentes, convergentes e paralelos, e exemplos de fontes (abaixo) que podem emitir cada tipo de feixe mencionado.

Cada raio de luz que emerge de uma fonte luminosa se propaga individualmente em linha reta nos meios transparentes. Esse fenômeno é denominado **propagação retilínea da luz**, mas o conjunto dos raios de luz, chamado de feixe de luz, depende do tipo de fonte luminosa ou do tipo de sistema óptico. Fontes puntiformes emitem luz com um **feixe de raios divergentes**, que partem de um ponto e se propagam para todas as direções. Já as fontes de luz extensas podem ser pensadas como um conjunto de fontes puntiformes próximas e, por isso, além de emitirem raios de luz para todas as direções, também é possível identificar um **feixe de raios paralelos** de luz. Ainda, ao passar por alguns tipos de espelho ou lente, os raios de luz podem configurar um **feixe de raios convergentes**, isto é, com vários raios vindos de diferentes locais se cruzando em um mesmo ponto.

Independência e reversibilidade

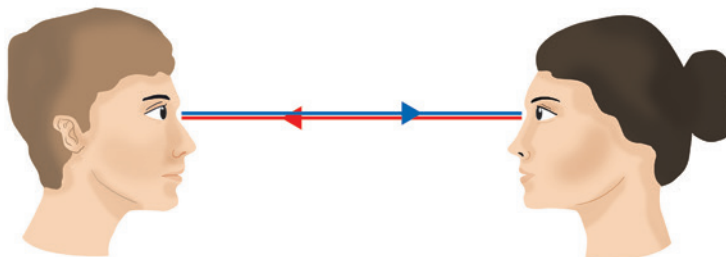
Quando raios de luz se propagam em um meio transparente, como o ar, o vácuo ou outro, seus cruzamentos não promovem mudança nas direções de propagação. Essa **independência da propagação dos raios de luz** gera outro fenômeno: o caminho de ida de um raio de luz pode ser também o caminho de volta de outro raio de luz sem que eles se atrapalhem, ou seja, há uma **reversibilidade** na propagação da luz.

A Princípio da independência dos raios de luz



B

Princípio da reversibilidade dos raios de luz



Esquematização dos princípios da independência (A) e da reversibilidade (B) dos raios luminosos.

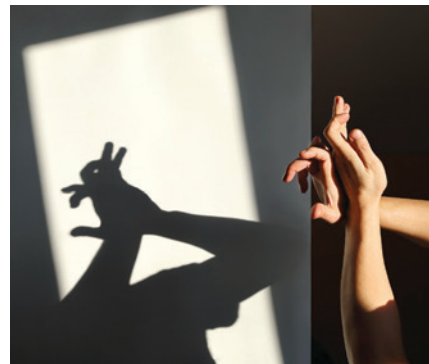
Por isso os sistemas que envolvem propagação da luz podem ter inúmeros cruzamentos dos raios luminosos sem que isso represente um fenômeno adicional.

Propagação retilínea da luz, sombra e penumbra

Fontes de luz e seus feixes característicos podem promover sombras com propriedades específicas que nos ajudam a entender fenômenos naturais, como eclipses parciais e totais.

A depender do tipo de fonte luminosa, uma sombra pode se formar com contornos bem definidos ou com um contorno borrado. Quando uma fonte de luz é puntiforme, seus raios de luz partem todos de um mesmo ponto e, por isso, ao encontrarem um corpo opaco formam uma **sombra**, ou **umbra**, bem definida. Por outro lado, fontes de luz extensas são como muitas fontes de luz puntiformes que emitem raios de luz de todos os seus pontos e para todas as direções, com isso, alguns alcançam certas regiões e outros não. A essas regiões parcialmente iluminadas chamamos **penumbra**.

A noção de sombras e penumbras também é constantemente utilizada em projetos arquitetônicos, indicando os locais mais adequados para o posicionamento de luminárias em uma casa ou em estabelecimentos comerciais. Sombras ainda podem ser utilizadas para produção de arte, desde a arte mais lúdica, como bichinhos na parede, até projetos artísticos complexos, que combinam objetos improváveis com um posicionamento milimetricamente calculado da fonte de luz, gerando imagens que somente a sombra revela.



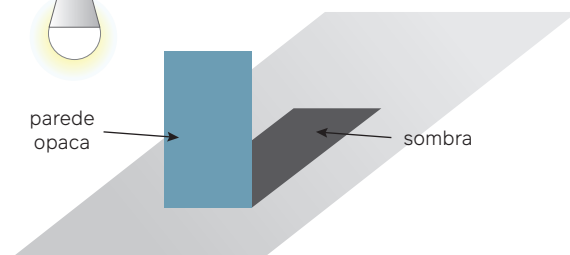
Teatro de sombras com as mãos, onde a luz incide e projeta sombras de objetos ou outros seres vivos na parede de acordo com a posição das mãos e dedos.

A

fonte puntiforme



parede opaca

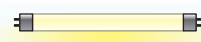


sombra

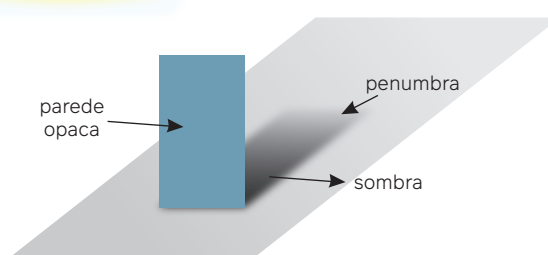
Reinaldo Vignati

B

fonte extensa



parede opaca



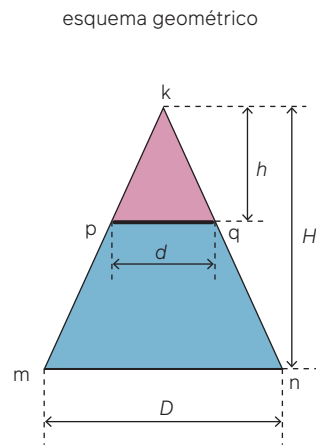
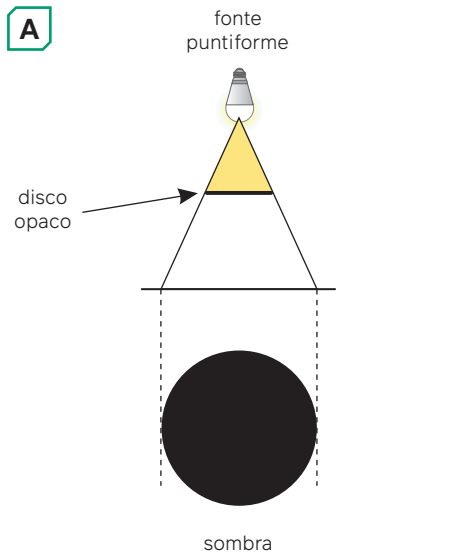
penumbra

sombra

Reinaldo Vignati

Em (A), situação de sombra definida, com luz partindo de uma fonte puntiforme, e em (B), situação de penumbra em torno de uma sombra, com raios de luz partindo de uma fonte extensa.

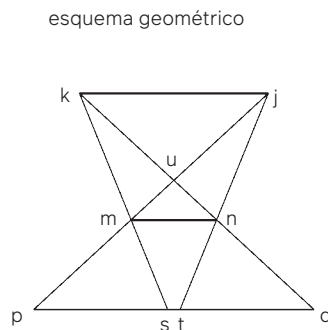
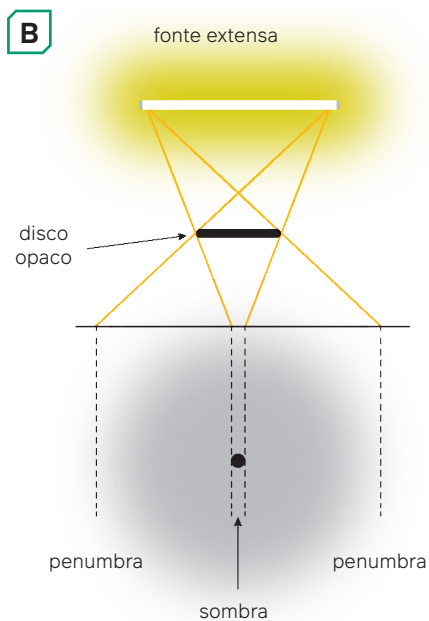
Uma vez que os raios de luz se propagam em linha reta, sombras e penumbras podem ser analisadas geometricamente. Essa análise nos permite compreender o tamanho da sombra em razão do tamanho do corpo opaco que bloqueia a luz e das distâncias envolvidas. As figuras a seguir indicam como a semelhança de triângulos pode ser aplicada em casos de sombras com fontes puntiformes e extensas formadas em anteparos planos.



Por semelhança:

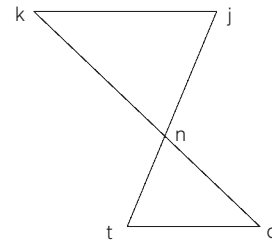
$$\Delta kpq \sim \Delta kmn$$

$$\frac{D}{d} = \frac{H}{h}$$



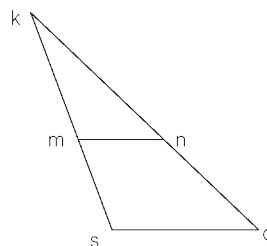
relação de semelhança:

$$\Delta knj \sim \Delta qnt$$



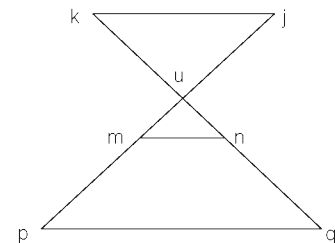
relação de semelhança:

$$\Delta kmn \sim \Delta ksq$$



relação de semelhança:

$$\Delta kuj \sim \Delta qup \sim \Delta num$$

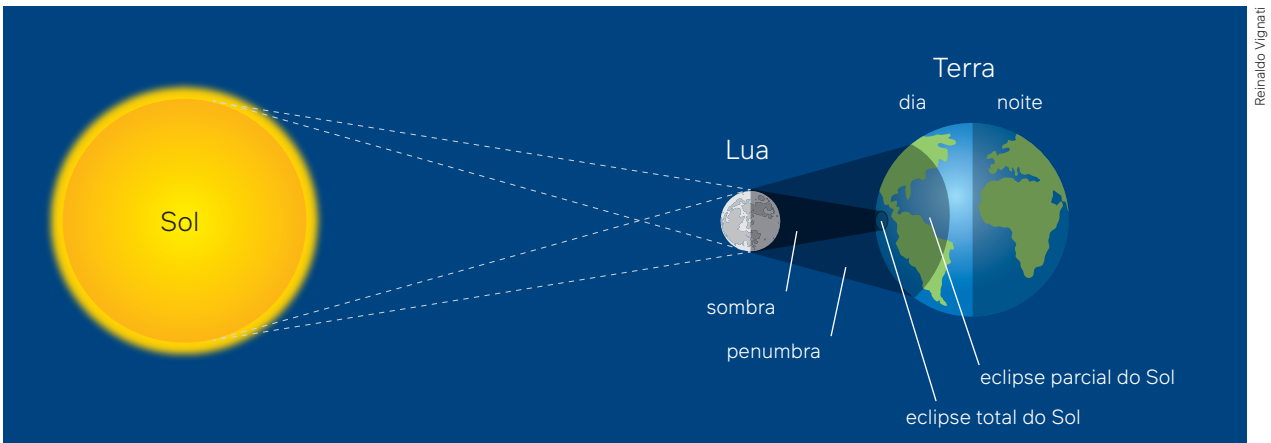


Esquema da formação de sombras e penumbras vistas de cima e de frente, a partir da semelhança de triângulos formados com os raios de luz. Em **(A)**, a sombra formada por um disco opaco bloqueando a luz que emerge de uma fonte puntiforme, sem a presença da penumbra. Em **(B)**, a sombra e da penumbra formadas por um disco opaco bloqueando a luz que emerge de uma fonte extensa.

A análise geométrica dos raios de luz é a essência do estudo da óptica geométrica. Não se trata de memorizar uma equação ou fórmula que resolva situações de sombras, mas, sim, aplicar, da forma como couber, a geometria plana em situações que envolvem raios de luz. Se na figura anterior tivéssemos outro tipo de corpo opaco ou outras distâncias, ou, ainda, outras posições da fonte de luz e do corpo opaco, precisaríamos de um novo esquema geométrico para compreender as dimensões envolvidas na sombra e na penumbra. Essa é uma das vantagens da análise geométrica dos raios de luz: para compreender sombra e penumbra, basta se valer das relações já conhecidas em geometria plana.

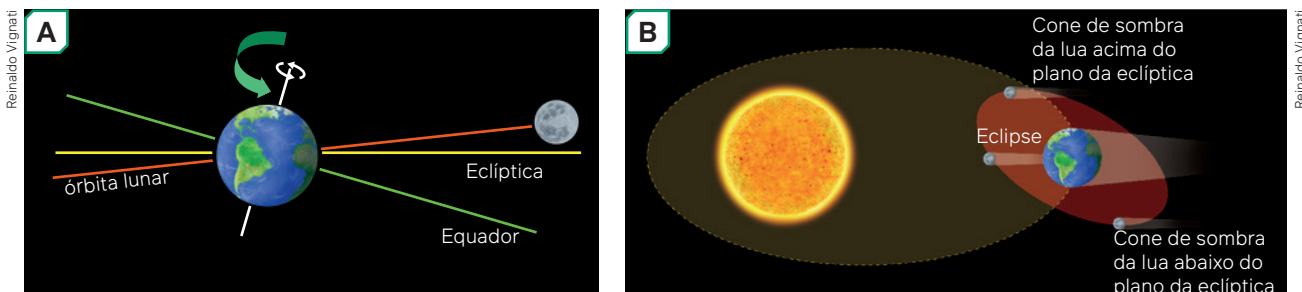
Eclipses

A ocorrência de eclipses é outro caso de sombra e penumbra. Há eclipses solares e lunares e, em cada um deles, há um corpo opaco bloqueando total ou parcialmente a luz de uma fonte. Nos eclipses solares, a Lua interrompe a luz do Sol, formando uma sombra (eclipse total) e uma penumbra (eclipse parcial) na superfície da Terra, como pode ser observado na figura a seguir.



Esquema geométrico do cone de sombra e de penumbra formados pela Lua, bloqueando a luz do sol e produzindo eclipse total do Sol (sombra) e eclipse parcial do Sol (penumbra) na superfície da Terra.

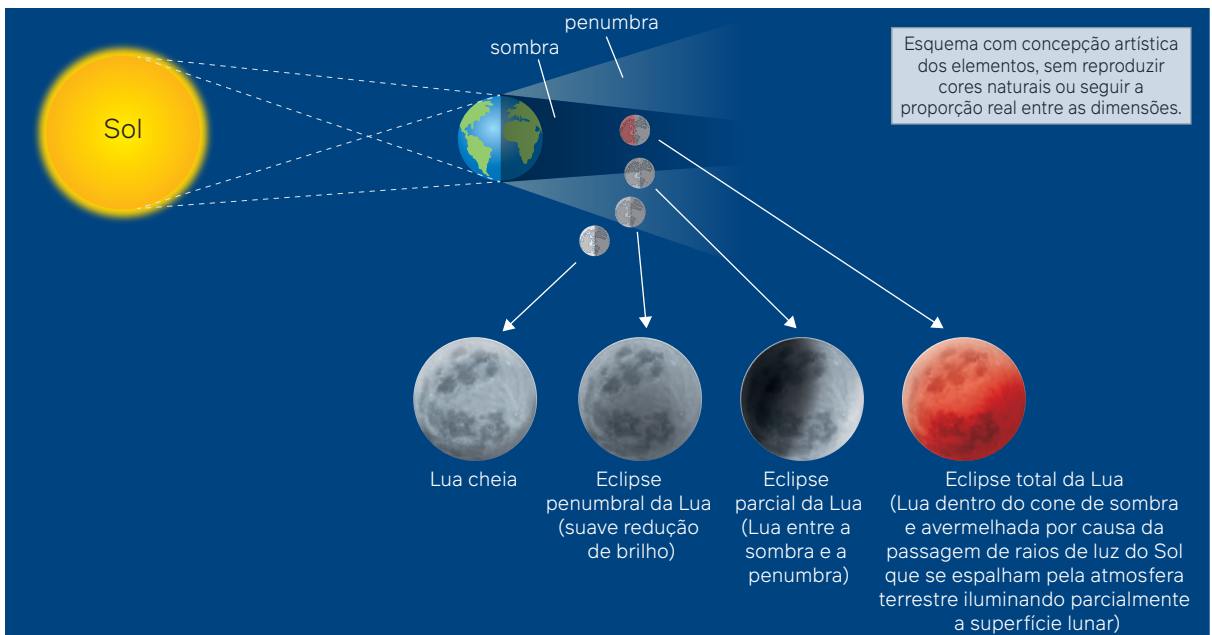
A cada 27 dias, aproximadamente, a Lua completa uma translação em torno da Terra. Mas isso não significa que teremos eclipse do Sol todos os meses, pois não se trata de um fenômeno corriqueiro. Na figura (A) a seguir, podemos observar que o plano de órbita da Terra em volta do Sol, chamado de eclíptica, não é o mesmo plano de órbita da Lua em torno da Terra. Já na figura (B), podemos observar que, em certas épocas, o cone de sombra da Lua está acima da eclíptica; em outras, abaixo. Somente quando o cone de sombra da Lua coincide com o plano da eclíptica é que temos a possibilidade de ocorrência de um eclipse; “possibilidade” porque para que esse fenômeno aconteça ainda é necessário que esse processo coincida com uma fase de lua nova, na qual a Lua se interpõe entre o Sol e a Terra.



Indicação do plano da eclíptica e do plano de órbita da Lua (A) e esquematização dos cones de sombras em diferentes épocas, formando eclipse apenas quando coincidem com o plano da eclíptica (B).

Os eclipses lunares são geometricamente semelhantes, mas ocorrem quando a Terra bloqueia a luz do Sol que ilumina a Lua. Nesse caso, é necessário que o cone de sombra da Terra esteja alinhado à Lua, que, por sua vez, precisa estar na fase cheia e visível completamente no céu noturno. Os eclipses lunares podem ser penumbral, parcial ou total, conforme observado na figura próxima figura.

Uma pessoa pouco ambientada com acontecimentos astronômicos pode nem perceber um eclipse penumbral, no qual a Lua continua visível no céu noturno, porém com seu brilho atenuado. Em situações nas quais a Lua se posiciona entre o cone de sombra da Terra e o cone de penumbra, podemos perceber uma região sombreada em sua superfície, caracterizando um eclipse lunar parcial. Em épocas nas quais a Lua se posiciona completamente dentro do cone de sombra da Terra, teremos um eclipse total. Nesses casos, a Lua ainda é vista, porém com cor avermelhada. Isso ocorre porque, mesmo formando um cone de sombra, parte dos raios de luz do Sol se espalha na atmosfera terrestre. Esse espalhamento, semelhante ao que forma o céu avermelhado nos fins de tarde, promove a chegada de alguns raios de luz solar à Lua, especialmente aqueles de cor avermelhada, conferindo ao satélite natural da Terra um tom vermelho que, por vezes, é denominado “Lua de sangue”.



Reinaldo Vignati

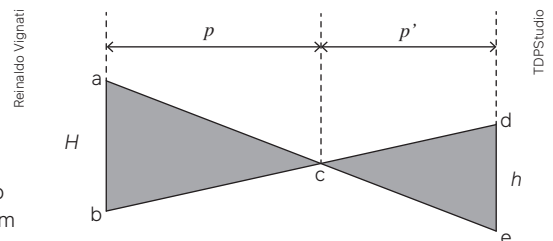
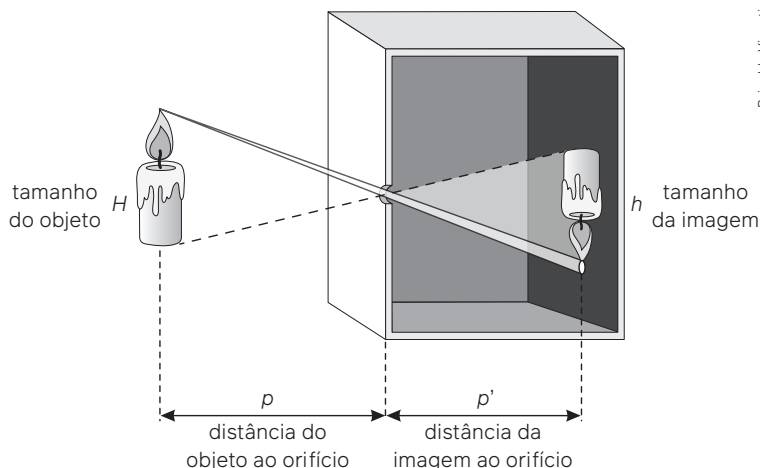
Diferentes posições da Lua em relação aos cones de sombra e de penumbra formados pela Terra, e exemplos de como cada tipo de eclipse lunar é visto a partir da superfície da Terra.

Câmara escura e observação segura de eclipses solares

Câmara escura de orifício

Uma das formas mais antigas e eficazes de produzir e registrar uma imagem é utilizando uma câmara escura, que consiste em uma caixa, uma lata ou um quarto inteiro completamente escurecido no qual um único orifício possa ser construído. Como a luz só pode entrar na câmara por esse orifício, os raios de luz formam, do lado oposto ao orifício, uma imagem daquilo que está fora da câmara. A câmara escura de orifício é também a versão mais rudimentar das atuais câmeras fotográficas que, mesmo possuindo lentes e um sensor digital, também projetam uma imagem real e invertida ao fundo.

Em uma câmara escura, podemos utilizar o princípio da propagação retilínea da luz para analisarmos geometricamente a imagem formada, conforme o esquema a seguir.



Por semelhança de triângulos:

$$\Delta abc \sim \Delta dec \quad \frac{H}{p} = \frac{h}{p'} \quad \text{ou} \quad \frac{h}{H} = \frac{p'}{p}$$

Esquematização de uma câmara escura de orifício, com os raios de luz saindo de uma vela, adentrando o orifício e projetando uma imagem invertida na parede oposta. Abaixo, o esquema geométrico dos raios de luz com as distâncias e os tamanhos envolvidos e a relação de semelhança de triângulos utilizada para análise.

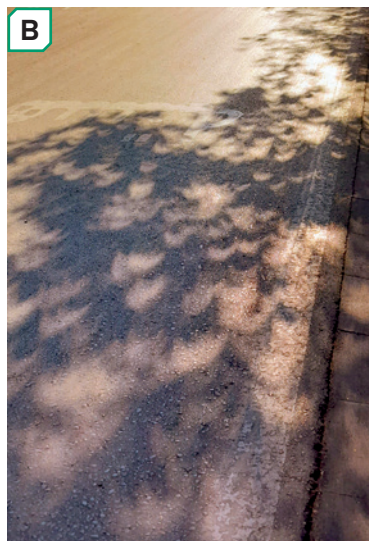
A relação matemática mostrada anteriormente também permite que determinemos distâncias com precisão. Se soubermos o tamanho do objeto (H) e o comprimento da câmara escura (p'), podemos determinar a distância de um objeto (p) em função do tamanho de sua imagem (h). Isso pode permitir que, a partir de um único ponto, possamos executar com precisão as medidas de distância em um grande terreno, algo que agrimensores fazem constantemente.

Observação segura de eclipses solares

Em eventos de eclipses solares, o ato de olhar diretamente para o Sol pode provocar danos permanentes à visão. Nos poucos instantes em que a esfera da Lua se alinha ao Sol, a observação direta é possível devido à baixa luminosidade remanescente. Mas nem antes, nem depois a observação direta do eclipse é segura. Há óculos especiais para a observação de eclipses, muito diferentes dos óculos de sol comuns. Uma câmera escura também pode ser utilizada, permitindo que eclipses solares sejam observados com segurança. Isso a coloca também como um aparelho de observação astronômica.



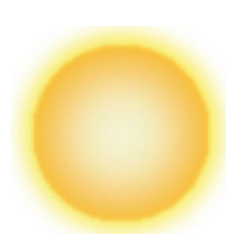
Mardian Sundaynuur/Shutterstock.com



Photazomy/Shutterstock.com



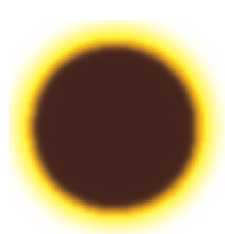
SerenityScapes/Shutterstock.com



TDPStudio



TDPStudio



TDPStudio

Diferentes projeções do Sol entre espaçamentos de folhas de árvores nas situações sem eclipse solar (A), com eclipse parcial do Sol (B) e com eclipse solar total (C); e as respectivas representações dos estágios do eclipse solar que promoveriam as projeções indicadas (A, B, C)

Para entendermos o processo, lembremos que qualquer superfície com um orifício pode se comportar como uma câmera escura e, por isso, projetar uma imagem. Um caso emblemático ocorre com as projeções do Sol entre as folhas de uma árvore. Quando a luz direta do Sol é bloqueada por folhas de árvores, os pequenos espaços por onde a luminosidade passa se comportam como orifícios de uma câmera escura. A prova disso é que, sem eclipse, as projeções da luz entre as folhas no chão formam circunferências que são, na verdade, imagens projetadas do Sol, como indica a figura A. Em um eclipse parcial, as projeções entre as folhas das árvores da imagem do Sol no chão mostram o Sol parcialmente encoberto. Em um eclipse total do Sol, as projeções entre folhas de árvores mostrarão a imagem do Sol totalmente encoberto com o anel luminoso em volta da circunferência.

Esse fenômeno, de um lado, comprova o princípio da propagação retilínea da luz nessas condições físicas de avaliação e, de outro, permite explorar um eclipse solar não pela observação direta, mas, sim, pela projeção da imagem do Sol em uma superfície.

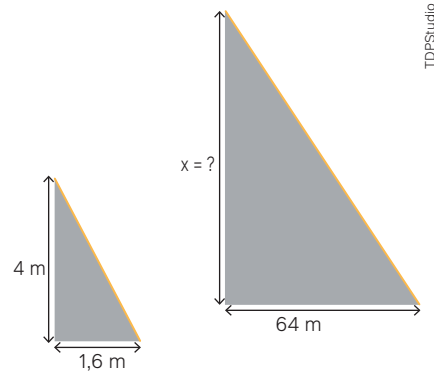
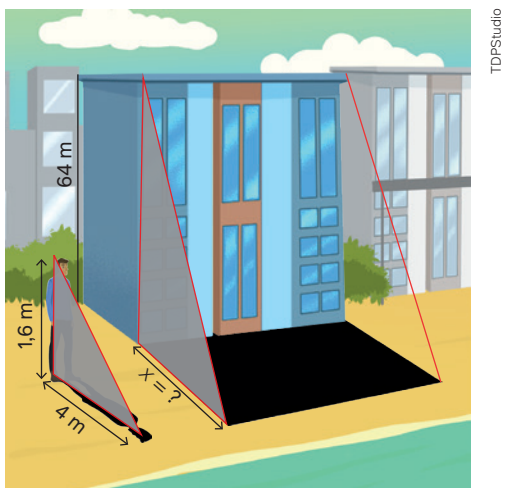
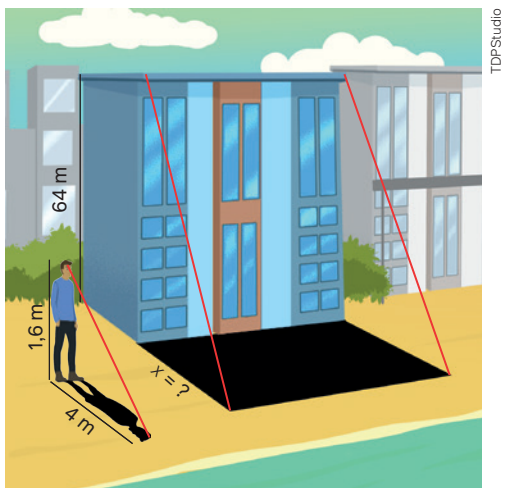
Uma câmera escura pode ser utilizada, mas é possível construir uma versão um pouco mais rudimentar para a observação segura de um eclipse solar. Para isso, basta dispor duas folhas horizontais, paralelas uma à outra e manter entre elas uma distância vertical. Na folha superior faz-se um furo muito pequeno com uma agulha, de modo que, ao apontar o conjunto para o Sol, a luz atravesse o furo e atinja a folha inferior. Desse modo, obtemos uma boa imagem do Sol, eclipsado ou não.

Atividades comentadas

1. Um dos problemas do urbanismo contemporâneo nos litorais é a construção de prédios muito altos e suas sombras projetadas nas faixas de areia das praias. Essa sombra projetada é resultado do bloqueio dos raios de luz do Sol. Uma vez que o Sol é uma fonte de luz extensa, seus raios de luz paralelos chegam à Terra. Se uma pessoa de 1,6 m de altura projeta, às 16 horas, uma sombra horizontal de 4 m no chão, a que distância da areia da praia deve ficar um prédio de 64 m de altura para que os banhistas tenham luz solar às 16 horas?

Resolução

Os raios de luz projetam sombras na pessoa e no prédio com raios paralelos, então, se faz necessário observar se há alguma regularidade geométrica. Como há uma semelhança entre os triângulos formados na sombra do prédio e na sombra da pessoa, a relação de proporcionalidade pode ser utilizada.



Por semelhança de triângulos:

$$\frac{h_p}{s_p} = \frac{H}{S}$$

$$\frac{1,6}{4} = \frac{64}{x}$$

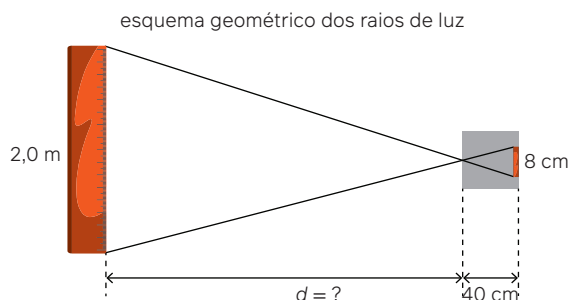
$$x = \frac{4 \cdot 64}{1,6} \therefore x = 160 \text{ m}$$

Então, para que não ocorra sombras às 16 horas nas faixas de areia dessa praia, o prédio precisa ficar afastado 160 m.

2. Uma câmera escura de orifício é construída com uma caixa cúbica de 40 cm (0,4 m) de aresta. Uma régua com 2 m de altura é utilizada como objeto de referência para determinar distâncias em um terreno. A que distância a régua estará da câmera quando a imagem formada tiver 8 cm (0,08 m) de altura no fundo da câmera?

Resolução

Observe o esquema da representação do caminho percorrido pela luz com base nos extremos da régua. A partir desse esquema, podemos perceber que há uma proporcionalidade entre os dois triângulos formados.



Então, por semelhança de triângulos, temos:

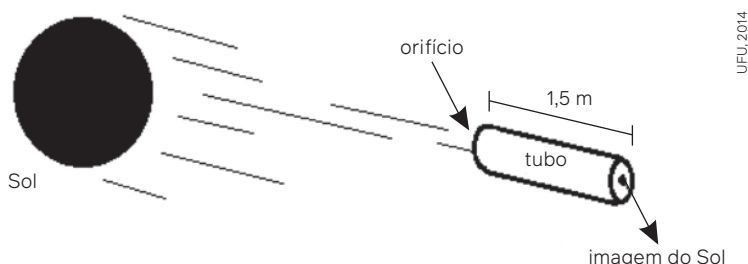
$$\frac{2}{0,08} = \frac{d}{0,4}$$

$$d = \frac{0,4 \cdot 2}{0,08}$$

$$\therefore d = 10 \text{ m}$$



- Assinale as alternativas que contêm apenas fontes de luz primárias.
 - Sol, tela de celular ligado, Lua.
 - Caderno, vela acesa, lâmpada acesa.
 - Sol, lâmpada acesa, fósforo aceso.
 - Cadeira, lâmpada acesa, vela acesa.
 - Lua, Terra e Sol.
- (UFU-MG – 2014) Um método para determinar o diâmetro do Sol consiste no emprego de um tubo de cartão, por exemplo, sendo que em uma de suas extremidades é feito um pequeno furo com um alfinete e, na outra, colocado um papel semitransparente. A luz que viaja do Sol até nós, ou seja, que percorre 150 milhões de quilômetros, atravessa o pequeno orifício e projeta no papel semitransparente uma imagem do astro-rei, conforme o esquema abaixo.



UFU, 2014

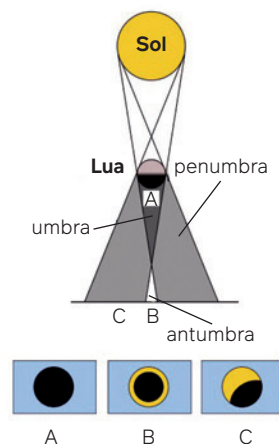
Para o tubo com o comprimento mostrado no esquema, o diâmetro da imagem é de 1,4 cm.

- A partir da situação descrita, calcule o diâmetro do Sol.
 - Por que a Lua, mesmo tendo diâmetro muito menor do que o do Sol, consegue encobri-lo por completo, conforme percebido por um observador que analisa um eclipse total do Sol?
- (UNIRG-TO – 2017) O esquema a seguir representa um eclipse solar, no qual a Lua, ao passar entre a Terra e o Sol, produz regiões de umbra (cone de sombra), penumbra e antumbra. Na região da umbra, o eclipse é total (**A**), na região de penumbra, o eclipse é parcial (**C**) e na antumbra é anular (**B**).

Disponível em: Eclipses_solares.en.png. Acesso em: 28 out. 2016. [Adaptado]

Essas regiões acontecem porque os raios que partem do Sol

- são independentes.
 - interferem-se ao passar pela Lua.
 - são reversíveis.
 - propagam-se retilineamente.
- A altura da imagem projetada ao fundo de uma câmera escura de orifício é aumentada quando:
 - aumentamos o tamanho da câmera.
 - diminuímos o tamanho orifício.
 - afastamos o objeto da câmera.
 - aproximamos o objeto da câmera.
 - aumentamos o tamanho do orifício.
 - (Mackenzie-SP – 2005) Um eclipse solar só pode ocorrer quando:
 - é fase de lua nova.
 - é fase de lua cheia.
 - é fase de lua em quarto crescente.
 - é fase de lua em quarto minguante.
 - nenhuma das respostas é correta.



UNIRG, 2017

Disponível em: Eclipses_solares.en.png. Acesso em: 28 out. 2016. [Adaptado].

Etnoastronomia

A relação do homem com o céu ocorreu, e ocorre, por vários motivos. Há por um lado todo o encanto e mistérios, próprio de tudo que é grandioso, instigando a contemplação celeste; e por outro, existe a necessidade de orientação, que para os povos antigos era fundamental à sobrevivência dos mesmos, visto não disporem de outros meios de localização no espaço e tempo, que não fossem as estrelas. Pode-se afirmar que tal relação foi, inicialmente, reforçada com a sedentarização dos povos. Há cerca de 8000 anos, o homem era caçador, mas começava a desenvolver uma agricultura rudimentar. Dependia, então, dos fenômenos sazonais para a prática da caça, devido à migração dos animais e devido às chuvas para a agricultura.

[...]

Buscar compreender a significação social que cada povo constrói para justificar os seus atos, costumes, valores, crenças, etc, é um ponto chave para se entender a importância do respeito às diversas visões de mundo. As divergências de opiniões e [ideias] para se explicar, por exemplo, a origem do Universo é natural da espécie humana pois reflete uma pluralidade de valores e crenças próprios de qualquer indivíduo que tenha um mínimo de liberdade para expressar seus pensamentos, trazendo à tona um aspecto marcante de toda sociedade: a heterogeneidade cultural. Cada cultura, como foi visto, atribui significados, sentidos e destinos à existência humana, balizando as suas próprias regras e constituindo-se de conjuntos de verdades relativas aos atores sociais que nela aprenderam porque e como existir.

[...]

O preocupante, porém, e o que justifica este trabalho, é quando percebe-se a predominância de uma visão de mundo etnocêntrica, ou seja, o indivíduo acha que a sua forma de apreender e compreender a realidade que o cerca é superior a qualquer outra. Nesta visão, há um grupo do “eu” que tem o mesmo estilo de vida e o grupo do “outro” que vive de forma estranha e exótica, é o “grupo do diferente” com sinônimo de inferioridade. Assim, no pensar etnocêntrico, um determinado grupo social ou indivíduo se vê como centro de tudo e pensa o “outro” a partir dos seus próprios valores e definições do que é existência, culminando na intolerância e no desrespeito ao próximo.

[...]

Quando se observa os malefícios do etnocentrismo, tanto localmente como em escala global, percebe-se a importância e necessidade de trabalhos educativos junto a escolas, como esse desenvolvido no Planetário do Pará. É importante que esses trabalhos trilhem pelo caminho que vai do etnocentrismo à relativização, ou seja, demonstrando que o “outro” não é melhor nem pior, mas apenas diferente.

[...]

Trechos de MARTINS, K. P.; ARAÚJO, L. M.; SAUMA FILHO, M. *O universo das sociedades numa perspectiva relativa: exercícios de etnoastronomia*. Trindade: UFSC, [20--?]. Disponível em: <https://planetario.ufsc.br/etnoastronomia/>. Acesso em: 16 ago. 2024.

Trocando ideias

1. Como os fenômenos astronômicos se relacionam com o dia a dia?
2. De que forma as astronomias indígenas, africanas, polinésias e outras tiveram seu *status* apagado ou diminuído ao longo da história?
3. O texto menciona que as constelações indígenas são formadas, em parte, pelo contraste entre as partes escuras e claras da Via Láctea. Explique, com base em seus conhecimentos de Física, como a Via Láctea se forma e por que ela apresenta áreas escuras e claras.

Reflexão da luz e telescópios newtonianos

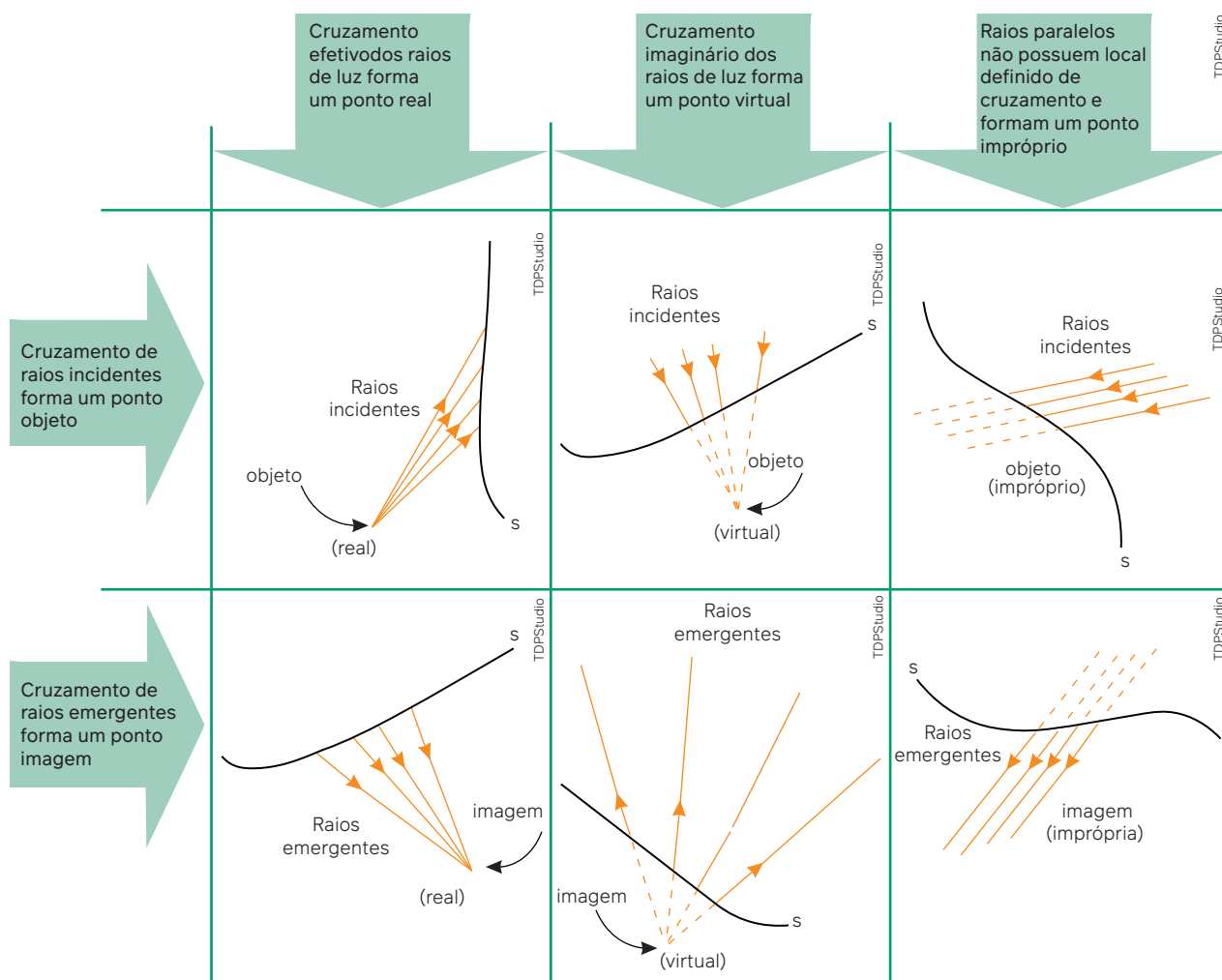
Estudaremos, a partir de agora, diferentes sistemas ópticos, como espelhos planos e curvos, prismas e outros. Como a Ciência se ocupa de produzir explicações sistematizadas para acontecimentos da natureza, precisaremos de uma definição mais formal e técnica para estudarmos imagens nos diferentes sistemas ópticos. Um sistema óptico é qualquer superfície onde a luz possa incidir e de onde raios de luz possam emergir.

Imagem e objeto em sistemas ópticos genéricos

Às vezes, a luz emerge, retornando ao meio de origem, em uma reflexão. Às vezes, passando para o outro meio de propagação, como em uma refração, que estudaremos à frente. Em todo caso, se temos um sistema no qual a luz incide e de onde emerge, temos um sistema óptico.

É comum identificarmos um objeto físico, como um copo sobre a mesa, uma casa em uma rua ou um livro na estante, mas, para que possamos compreender aparelhos ópticos mais elaborados, como telescópios ou microscópios, precisamos de uma definição mais cuidadosa sobre o que é um objeto e o que é uma imagem nos termos da óptica geométrica. É a análise dos raios de luz que definirá o que é um objeto e o que é uma imagem, em Óptica.

Em qualquer sistema óptico, seja ele um espelho, uma lente, seja qualquer outro, é possível identificar os raios que entram no sistema (raios incidentes) e os raios de luz que saem do sistema (raios emergentes). Temos um **objeto** no local geométrico de cruzamento dos raios incidentes, e temos uma **imagem** no local geométrico do cruzamento dos raios emergentes. O cruzamento efetivo dos raios de luz forma um objeto ou uma imagem **real**. Quando os raios efetivamente não se cruzam, mas seus prolongamentos imaginários sim, temos um objeto ou imagem **virtual** e, no caso de raios de luz paralelos, temos um objeto ou imagem **imprópria**.



Representação esquemática de pontos objeto e imagem em casos reais, virtuais e impróprios.

Os conceitos ópticos de objeto e de imagem são utilizados para estudo dos mais variados sistemas ópticos. Em telescópios, por exemplo, um conjunto de lentes e espelhos, variando de tipo para tipo de montagem, é utilizado para que um objeto remoto (muito distante) forme uma imagem final que o olho humano seja capaz de identificar.

Atividades comentadas

1. Observe as duas situações abaixo, nas quais um espelho plano **E** recebe e reflete dois raios de luz.



Classifique, nas duas situações, os pontos **A**, **B**, **C** e **D** como sendo objeto ou imagem, real ou virtual, para o espelho **E**.

Resolução

Para cada caso, deve-se primeiro determinar quais são os raios de luz incidentes e quais são os emergentes. Onde as retas dos raios incidentes se cruzam, tem-se um objeto; e onde as retas dos raios emergentes se cruzam, tem-se uma imagem.

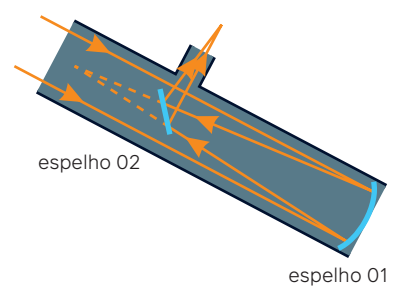


O ponto **A** é um cruzamento efetivo dos raios incidentes: objeto real; o ponto **B** é um cruzamento imaginário dos raios emergentes: imagem virtual. Já o ponto **C** é um cruzamento imaginário de raios incidentes: objeto virtual; e o ponto **D** é um cruzamento efetivo de raios emergentes: imagem real.

2. Um dos primeiros telescópios de reflexão foi construído por Isaac Newton (1643-1727). Consistia em um tubo com um espelho curvo ao fundo que refletia a luz para um espelho plano e desviava a luz para uma objetiva na lateral do tubo. A figura ao lado mostra uma imagem do telescópio de Newton e um esquema de raios de luz nos dois espelhos do telescópio.



Museu de Ciências, Londres

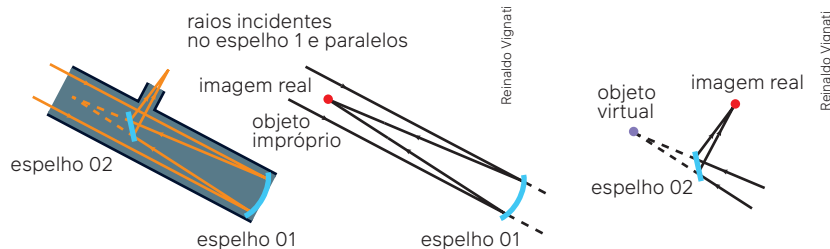


Reinaldo Vignati

Analise como são objeto e imagem para os espelhos 1 e 2 do telescópio newtoniano.

Resolução

Para cada um dos espelhos, devemos identificar os raios incidentes e os raios emergentes.



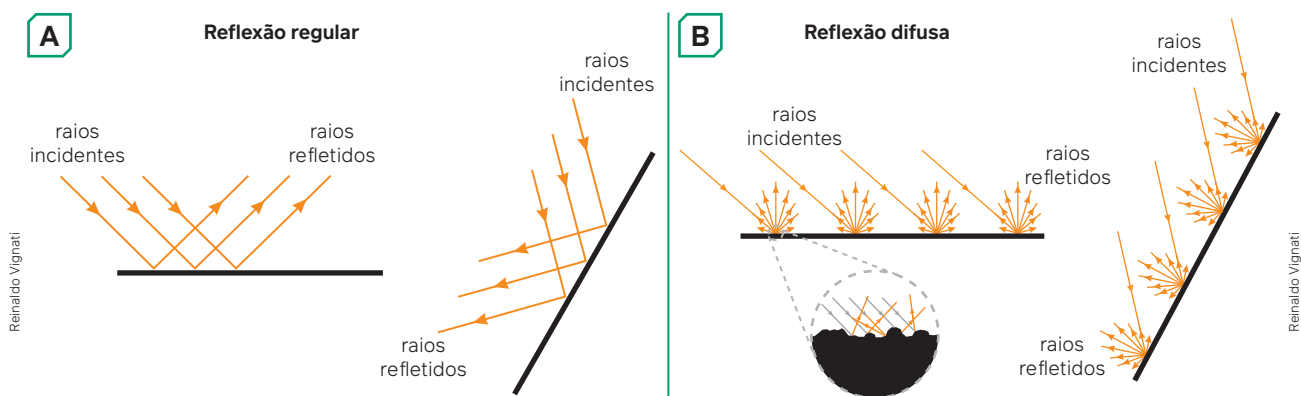
Outro aspecto importante: na análise do sistema óptico do espelho 1, não se considera a presença do espelho 2 e, na análise do sistema óptico do espelho 2, não se considera a presença do espelho 1. Cada sistema óptico tem objeto e imagem analisados de forma independente.

Fundamentos da reflexão da luz

Vamos verificar quais são as diferenças dos tipos de reflexão, que dependem do tipo de superfície onde a luz será refletida.

Reflexão regular e difusa

Podemos classificar as fontes de luz como sendo primárias ou secundárias, mas, se as fontes secundárias não emitem luz própria, como podemos enxergá-las? Você pode responder: “Porque os corpos que não emitem luz própria podem refletir a luz”. Isso é verdade! Se você os enxerga, a luz está sendo refletida. Essa diferença se dá porque, quando a luz se reflete, a reflexão pode ocorrer de forma regular, também chamada de especular, ou de forma difusa. Em superfícies polidas e regulares (figura **A**), a reflexão da luz segue uma ordem, uma organização ligada à forma do feixe de raios incidentes e, por isso, é chamada de reflexão regular da luz. Já em superfícies irregulares e não polidas (figura **B**), como o rosto de uma pessoa ou uma árvore, a reflexão também acontece, porém, de maneira difusa, isto é, os raios refletidos seguem direções aleatórias, não dependendo da forma do feixe dos raios incidentes.



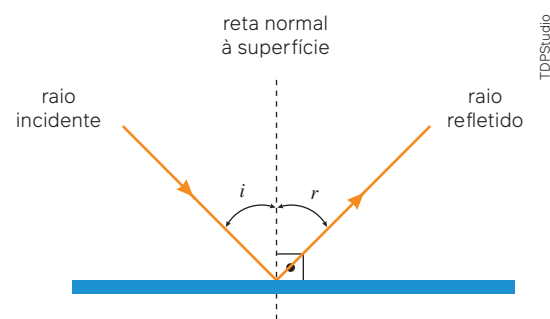
Reflexão regular da luz ocorrendo em superfícies polidas, e reflexão difusa da luz ocorrendo em superfícies rugosas, com detalhe da difusão acontecendo pela irregularidade superficial.

Por essa diferença, a superfície da água em repouso pode refletir a imagem do Sol de modo semelhante a um espelho, enquanto o chão reflete a luz do Sol, mas não vemos uma imagem formada porque os raios de luz solar são espalhados na reflexão difusa.

Leis da reflexão

Há duas leis que regem, do ponto de vista geométrico, à reflexão da luz. Em toda superfície onde um raio de luz incide, podemos determinar a reta normal à superfície, que serve de auxílio para a análise da reflexão da luz. O raio de luz incidente, a reta normal à superfície e o raio de luz refletido, conforme mostrado na figura ao lado, formarão um único plano (primeira lei da reflexão).

Observando a figura, tem-se o ângulo de incidência (i) formado entre o raio incidente e a reta normal, além do ângulo de reflexão (r), formado entre o raio refletido e a reta normal. Para qualquer reflexão da luz, esses dois ângulos serão iguais ($i = r$), e essa é a segunda lei da reflexão da luz.



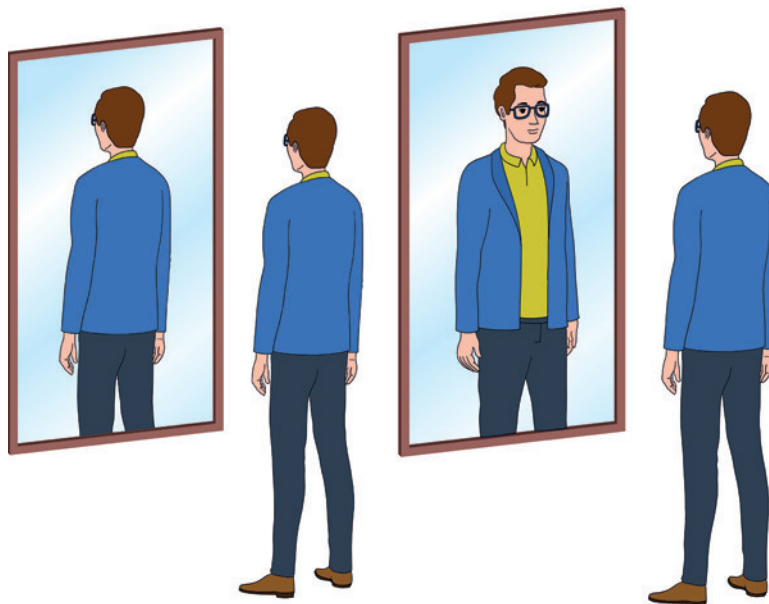
Esquemática da reflexão da luz e das leis da reflexão.

Espelhos planos

Um espelho plano é um instrumento óptico, talvez o mais comum no cotidiano. Esse objeto é composto de uma placa de vidro transparente que recebe sais de estanho, paládio, prata e outros, a depender da tecnologia de fabricação, formando uma película metálica que reflete de maneira regular a luz. Em um espelho plano, as leis da reflexão podem ser verificadas, e as imagens, analisadas. Desde espelhos em ambientes sociais até espelhos em camarins e barbearias, temos sempre uma formação nítida de imagens, permitindo que nos vejamos com uma grande precisão e com muitos detalhes.

Imagens em espelhos planos

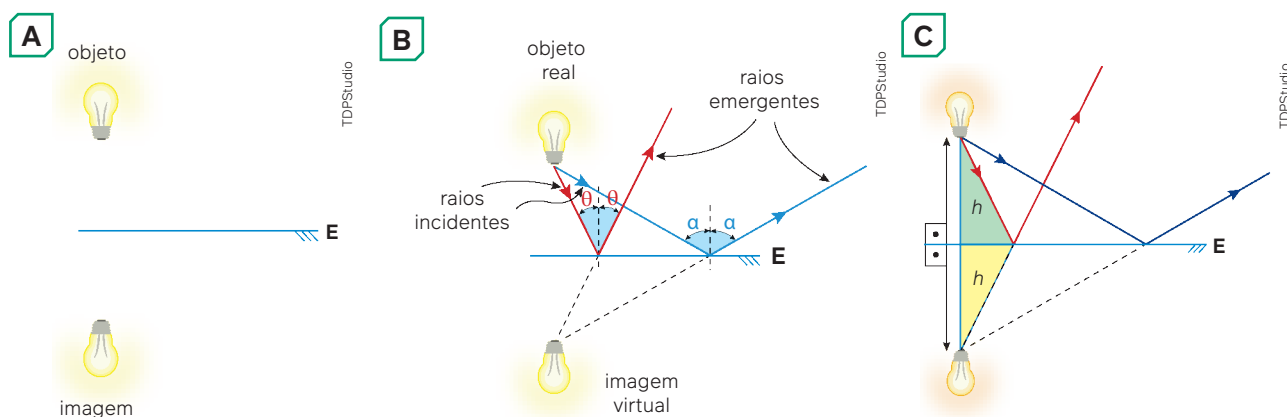
Em um espelho plano, as imagens são formadas pelos raios refletidos no espelho. Para cada ponto à frente de um espelho plano, há raios de luz que incidem no espelho (caracterizando o objeto), e que saem do espelho refletidos, caracterizando a imagem. Estamos habituados a identificar as imagens nos espelhos planos no dia a dia. Analise a figura a seguir e verifique qual das duas situações é possível e qual é impossível.



Reinaldo Vignati

Representação de uma pessoa diante de um espelho plano em duas situações: uma impossível (à esquerda); e outra possível (à direita).

Por que identificamos na figura, rapidamente, o que é e o que não é possível? Porque as experiências prévias nos permitem julgar rapidamente o que é e o que não é possível, mas o conhecimento de Física permite uma explicação mais sistematizada que promove a generalização daquilo que intuitivamente muitas vezes já sabemos. Na figura, apenas a imagem da direita é possível, porque espelhos planos formam imagens apenas da face de objetos que estejam voltadas à superfície refletora, mas como explicar isso usando as leis da reflexão? Basta pensarmos em objeto (cruzamento de raios incidentes) e imagem (cruzamento de raios emergentes). Veja a figura a seguir.

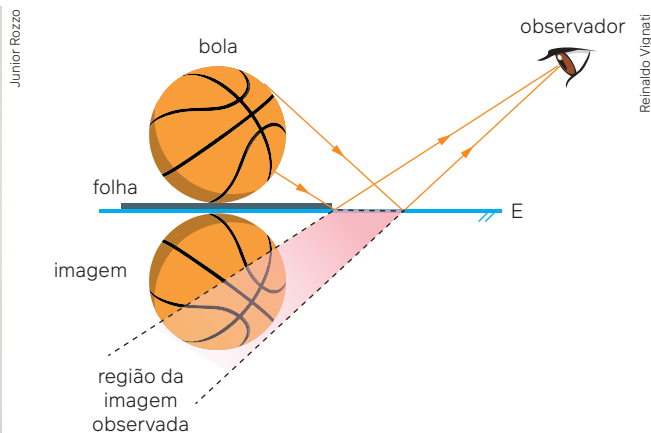


Em A, representação de um objeto e de sua imagem diante de um espelho plano; em B, esquema óptico com dois raios de luz incidindo no espelho e emergindo de sua superfície; em C, dois triângulos semelhantes, que mostram que a imagem em um espelho plano sempre tem a mesma distância que o objeto da superfície do espelho plano.

Podemos destacar algumas características das imagens nos espelhos planos, elas são: equidistantes do espelho em relação ao objeto; simétricas, ou seja, possuem as mesmas medidas que o objeto; virtuais para objetos reais (e reais para objetos virtuais); e enantiomorfas, ou seja, são como carimbos que formam uma imagem idêntica em medidas, mas simetricamente oposta.

Campo visual de um espelho plano

Viralizou em redes sociais o problema de ver a imagem de uma bola por um espelho, mesmo tendo uma folha de papel entre ela e o espelho. Perguntava-se: “Se o papel cobre a bola, como é que o espelho sabe que tem uma bola atrás do papel?”.



Situação na qual uma folha de papel é colocada entre uma bola e um espelho e, mesmo assim, a imagem da bola pode ser vista.

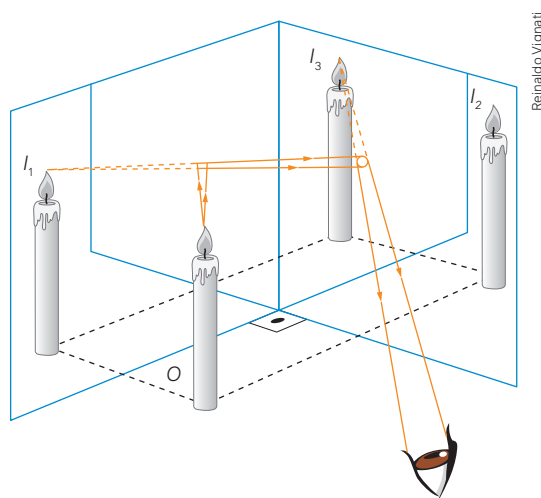
Como explicar que a bola ainda pode ser vista mesmo estando bloqueada pelo papel? Mais uma vez, o argumento está no caminho seguido pelos raios de luz no espelho (figura anterior, à direita). Para cada objeto e cada espelho, a posição do observador pode determinar qual é a região onde imagens podem ser vistas. Essa região é chamada de **campo visual** de um espelho plano.

Imagens em dois espelhos

Quando dois espelhos são colocados frente a frente, muitas imagens podem ser formadas. Isso porque um objeto pode formar uma imagem em um dos espelhos e essa imagem pode ser objeto para o outro espelho, e ainda o próprio objeto pode formar imagem no outro espelho. Na imagem a seguir, um desses casos é mostrado.



Dois espelhos frente a frente com inúmeras imagens formadas,



Uma vela de frente a dois espelhos formando 90° entre si,

Cálculo
do número de imagens
formadas

$$N_{im} = \frac{360^\circ}{\theta} - 1$$

Número de imagens formadas

$$N_{im} = \frac{360^\circ}{\theta} - 1$$

$$N_{im} = 4 - 1$$

$$N_{im} = \frac{360^\circ}{90^\circ} - 1$$

$$N_{im} = 3 \text{ imagens}$$

Exemplo de situação com muitas imagens formadas de um mesmo objeto em dois espelhos planos e cálculo utilizado para determinação do número de imagens formadas de acordo com o ângulo existente entre os dois espelhos (à esquerda); exemplo de uma vela em frente a dois espelhos formando 90° entre si e o cálculo do número de imagens formadas nesse caso (à direita).

Atividades comentadas

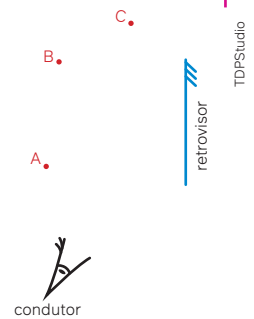
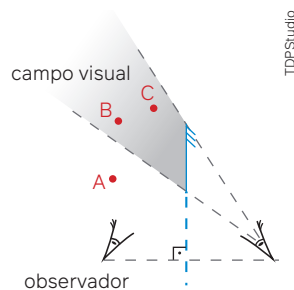
1. Ao observar o retrovisor de um carro, composto de um espelho plano, três pontos (**A**, **B** e **C**, indicados no esquema da figura), devem ser observados pelo condutor. De acordo com o arranjo mostrado, o condutor:

- a) verá pelo espelho o ponto **A**, mas não os pontos **B** e **C**.
- b) verá pelo espelho os pontos **B** e **C**, mas não o ponto **A**.
- c) verá pelo espelho os pontos **A** e **C**, mas não o ponto **B**.
- d) verá pelo espelho os pontos **B** e **A**, mas não o ponto **C**.
- e) verá pelo espelho o ponto **C**, mas não os pontos **A** e **B**.

Resolução

Alternativa **b**.

Para determinar os pontos vistos pelo espelho, devemos construir o campo visual do espelho e, então, analisar quais deles estão dentro desse campo visual.



TDPStudio

2. Ao observarmos uma montanha refletida na superfície plana líquida de um lago, temos o fenômeno da reflexão da luz visto em tempo real. Considere o caso da imagem abaixo.



Oregon's Mt. Hood Territory/America's Byways/
Departamento de Transportes dos Estados Unidos

Sobre a reflexão da luz e a formação das imagens, podemos afirmar que:

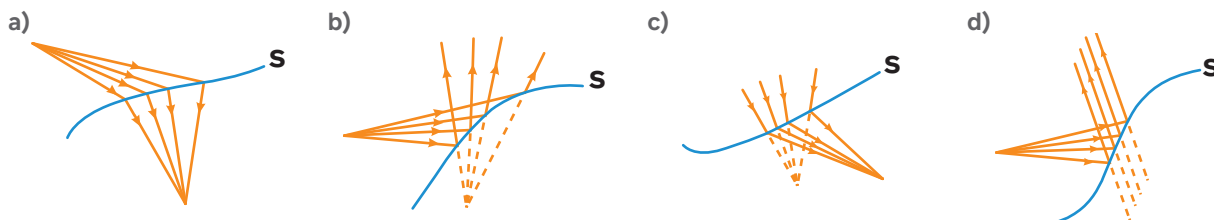
- a) a imagem da montanha é maior que a própria montanha.
- b) a montanha não reflete a luz, a água sim.
- c) a imagem da montanha é real.
- d) a superfície do lago reflete a luz de maneira regular.
- e) as árvores da imagem não refletem a luz.

Resolução

A reflexão difusa da luz é promovida pela montanha, pelas árvores e por quaisquer outras superfícies rugosas apresentadas na imagem. Já a superfície do lago, por ser plana e regular, reflete a luz de modo especular, ou seja, promove a reflexão regular da luz como se fosse um espelho plano. Alternativa **d**.



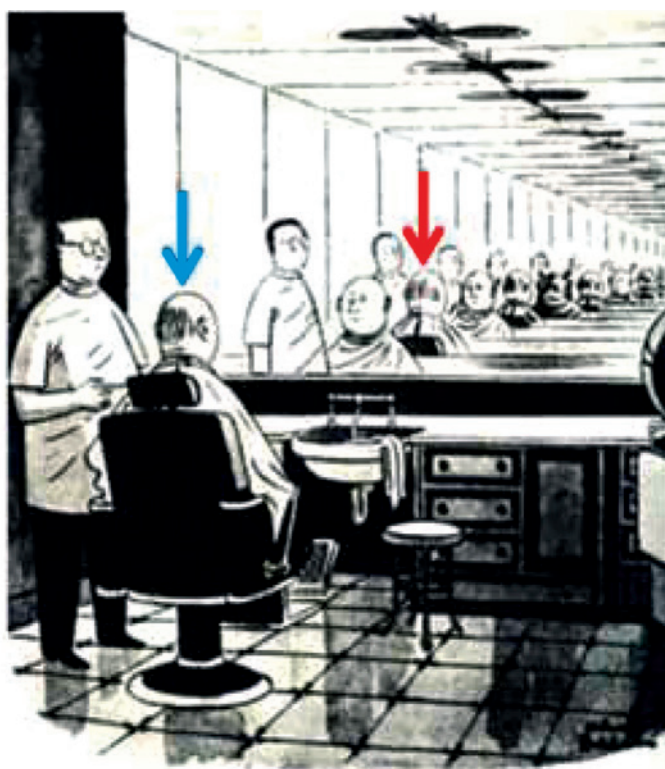
1. Para cada situação a seguir, localize objeto e imagem e classifique como real, virtual ou impróprio.



2. (UECE-CE – 2018) Em espelhos planos, e no contexto da óptica geométrica, o fenômeno comumente observado com raios de luz é a

- a) refração.
- b) reflexão.
- c) difração.
- d) interferência.

3. (Unesp-SP – 2021) Em uma barbearia existem dois espelhos planos verticais, paralelos e distantes 3 m um do outro, com a face refletora de um voltada para a face refletora do outro. Um cliente está sentado de frente para um deles, a 1 m de distância dele. Na figura, fora de escala, pode-se notar a infinidade de imagens geradas devido a reflexões sucessivas nesses espelhos.



Fundação Vunesp / UNESP, 2021

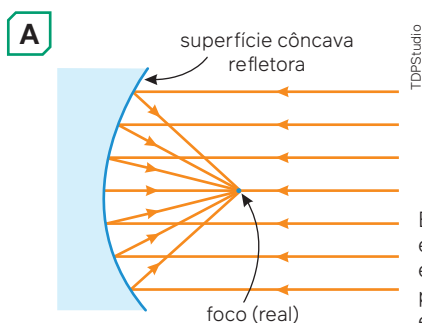
Nessa situação, considerando as distâncias informadas e as características das imagens formadas por espelhos planos, a distância entre a cabeça do cliente, indicada pela seta azul na figura, e a imagem da sua cabeça, indicada pela seta vermelha, é de:

- a) 3 m
- b) 4 m
- c) 7 m
- d) 5 m
- e) 6 m

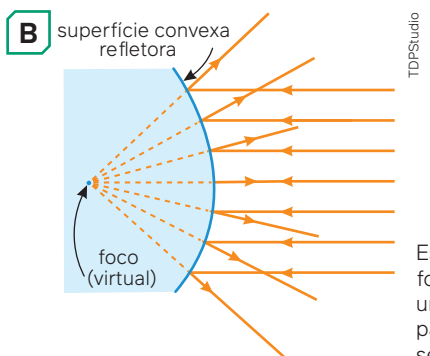
Espelhos esféricos

A observação do céu pode ser feita a olho nu, mas, com o advento dos telescópios, detalhes do céu profundo passaram a ser estudados. Há grandes telescópios terrestres que permitem o estudo dos astros no céu, mas eles estão sujeitos a dificuldades geradas pela poeira atmosférica, por luminosidades urbanas e pela turbulência do ar. Uma solução para isso foi levar o telescópio para o espaço. Embora possa parecer absurdo, isso já foi feito dezenas de vezes com os chamados **telescópios espaciais**. Esse tipo de telescópio tem a vantagem de capturar imagens do Universo sem a interferência da poeira, da luminosidade urbana ou da atmosfera. Como consequência, a produção de imagens muito mais nítidas de planetas, galáxias e outras formações cósmicas se tornou possível.

Alguns dos telescópios são sensíveis à radiação ultravioleta, a raios x e a outras regiões do espectro eletromagnético, mas um elemento comum à maioria deles é a presença de um grande espelho curvo, utilizado para receber raios de luz ou apagar outras radiações de pontos muito distantes e localizá-los em um ponto. Esses espelhos utilizados em telescópios são superfícies côncavas que recebem raios de luz paralelos e concentram a imagem em um único ponto, chamado de foco do espelho (**A**). No dia a dia, temos contato também com espelhos curvos, um exemplo é quando observamos um espelho de segurança em uma esquina. Contudo, esses espelhos curvos são superfícies convexas que recebem raios paralelos e espalham a luz a partir de um ponto situado virtualmente atrás do espelho (**B**). Esse ponto também é um foco, porém, virtual.

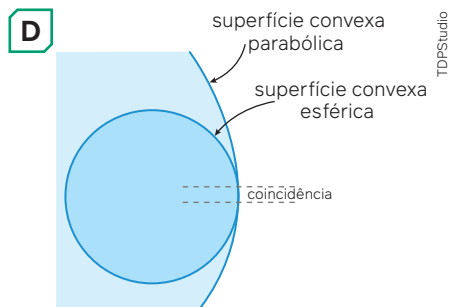
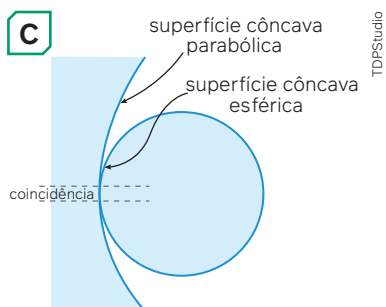


Espeho côncavo de um telescópio espacial, formando imagens dos técnicos e uma representação de um feixe de raios paralelos incidindo na superfície côncava e se refletindo no foco real do espelho;



Espeho convexo de segurança, formando imagem de carros na rua, e uma representação de um feixe de raios paralelos incidindo na superfície convexa e se refletindo no foco virtual do espelho.

O comportamento das superfícies curvas que recebem raios paralelos é tipicamente observado em superfícies parabólicas, no entanto, superfícies esféricas de pequenas aberturas têm aproximações com o comportamento de espelhos parabólicos suficientes para que sejam estudadas como tal.

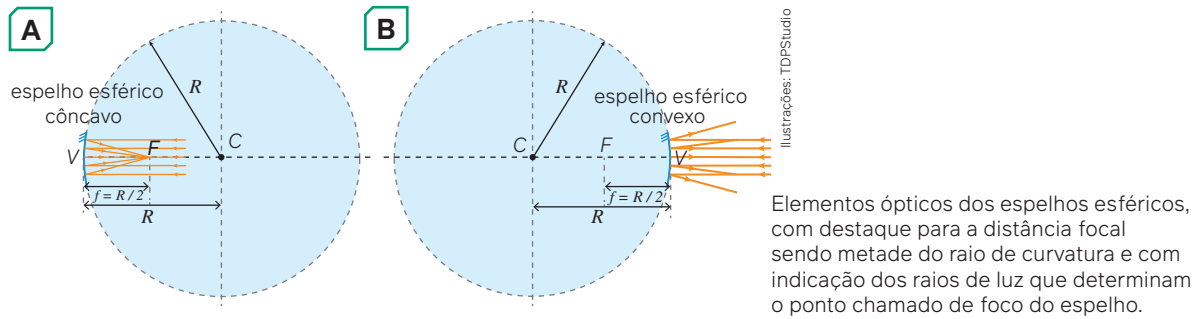


Superfícies parabólica e esférica côncava (C) e convexa (D), com destaque para a coincidência de superfícies indicando que os espelhos esféricos se comportam como espelhos parabólicos em pequenas aberturas.

Os espelhos esféricos que se comportam como os espelhos parabólicos são chamados espelhos esféricos gaussianos, em referência a Carl Friedrich Gauss, ilustre matemático alemão que contribuiu em diferentes áreas da Física.

Raios de luz notáveis e imagens em espelhos esféricos

Para que possamos analisar o comportamento da luz em espelhos esféricos gaussianos, precisamos de alguns elementos geométricos auxiliares. O centro de curvatura do espelho (C) define a distância até o vértice do espelho (V) como o raio de curvatura (R). Na metade do raio de curvatura do espelho, tem-se o foco (F) e a distância focal (f) do espelho. Esse ponto é chamado de foco porque todos os raios de luz que incidem no espelho paralelamente ao eixo são refletidos para lá, no caso de um espelho côncavo (imagem **A**), ou a partir de lá, no caso de um espelho convexo (imagem **B**).



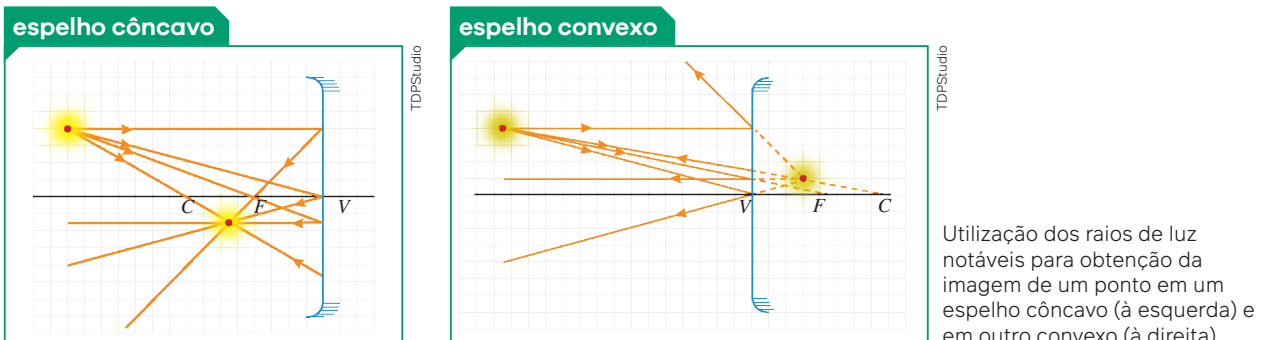
Usando as leis da reflexão, podemos identificar alguns raios de luz que têm um comportamento notável em relação aos elementos ópticos dos espelhos esféricos. Os casos notáveis estão mostrados na figura a seguir.

	Raios de luz que incidem paralelos ao eixo principal são refletidos na direção do foco do espelho	Raios de luz que incidem apontando o foco são refletidos na direção do eixo principal do espelho	Raios de luz que incidem passando pelo centro do espelho são refletidos sobre si mesmos	Raios de luz que incidem no vértice do espelho são refletidos simetricamente ao eixo do espelho
Espejos Côncavos	A1 	A2 	A3 	A4
Espejos Convexos	B1 	B2 	B3 	B4

Ilustrações: TDPStudio

Raios de luz notáveis nos espelhos esféricos côncavos (A1, A2, A3, A4) e convexos (B1, B2, B3, B4).

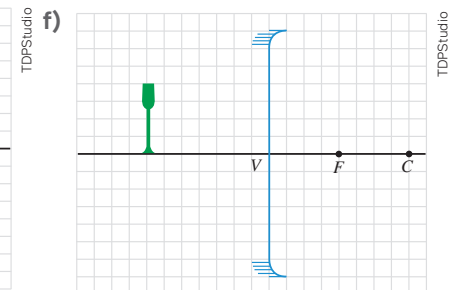
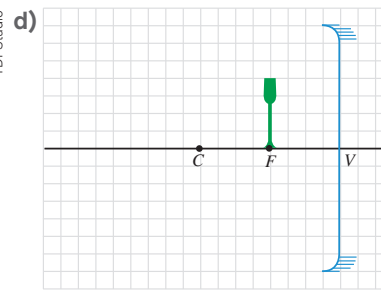
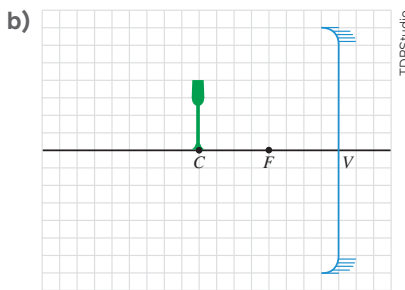
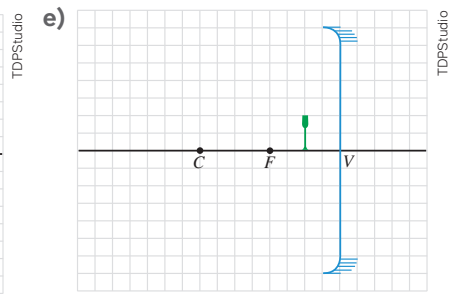
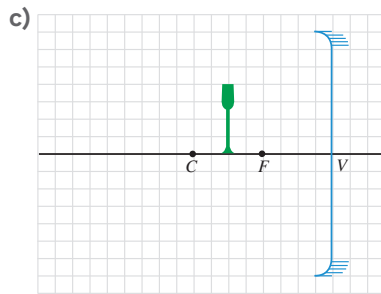
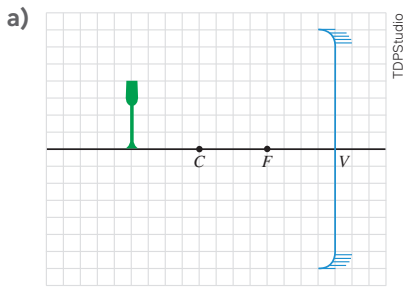
Conhecendo os raios de luz notáveis, podemos pensar o espelho como um sistema óptico qualquer: o cruzamento dos raios de luz que incidem no espelho definem o objeto, e o cruzamento dos raios de luz que emergem do espelho definem a imagem.



Em um espelho côncavo, podemos ter imagens reais, virtuais ou impróprias, a depender da posição do objeto. Já em um espelho convexo, teremos imagens sempre virtuais, visto que seu foco e seu centro são também virtuais.

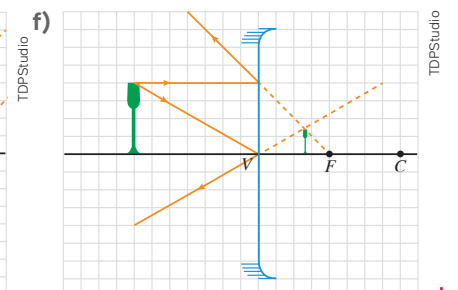
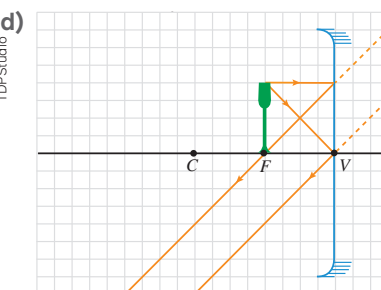
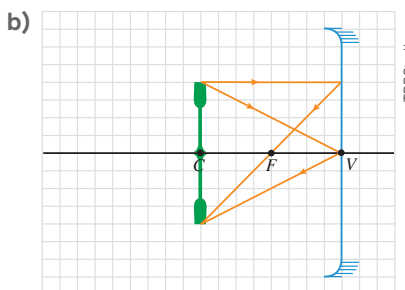
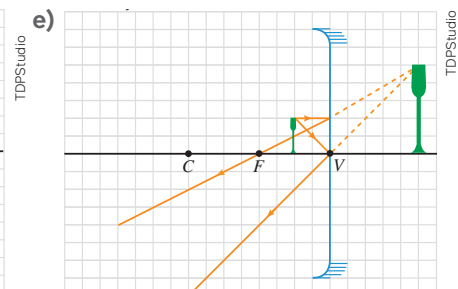
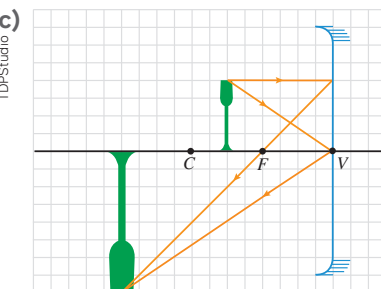
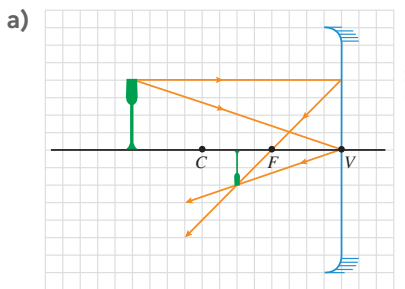
Atividades comentadas

1. Em cada um dos casos a seguir, determine se a imagem formada pelo espelho é real, virtual ou imprópria, se é invertida ou direita, e, ainda, se é maior, menor ou do mesmo tamanho que o objeto.



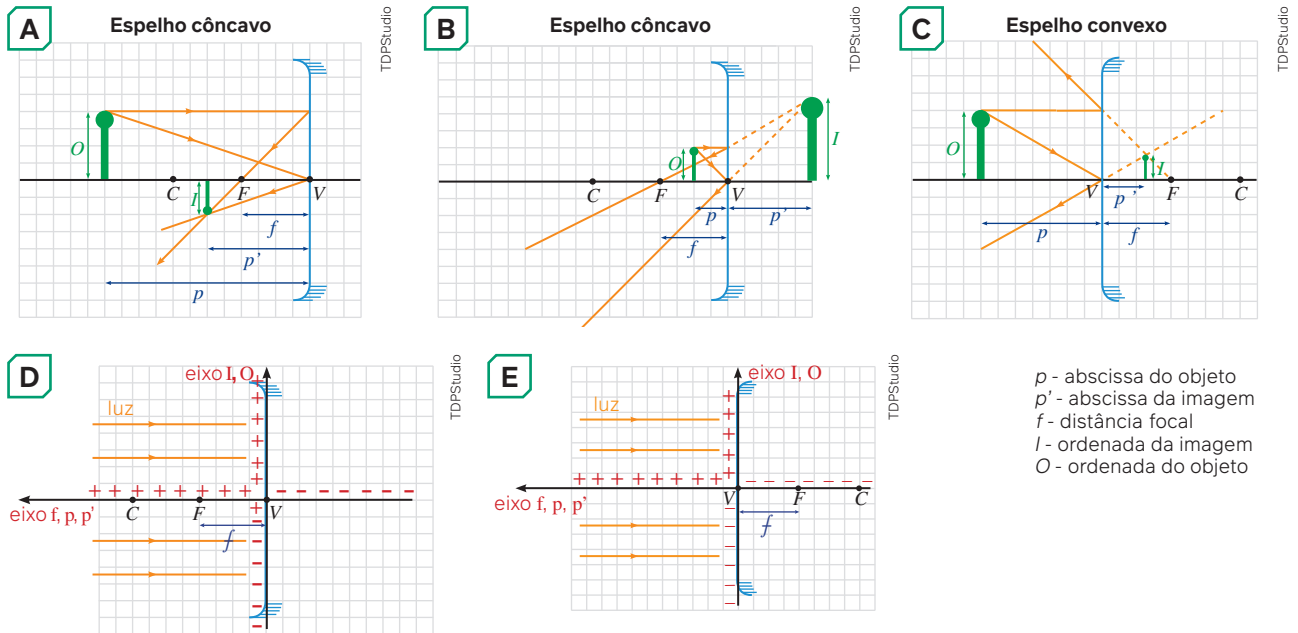
Resolução

Para cada um dos casos, basta utilizarmos ao menos dois raios de luz notáveis que saiam dos pontos extremos do objeto e que incidam no espelho. Então, precisamos buscar o local de cruzamento dos raios que são refletidos pelo espelho.



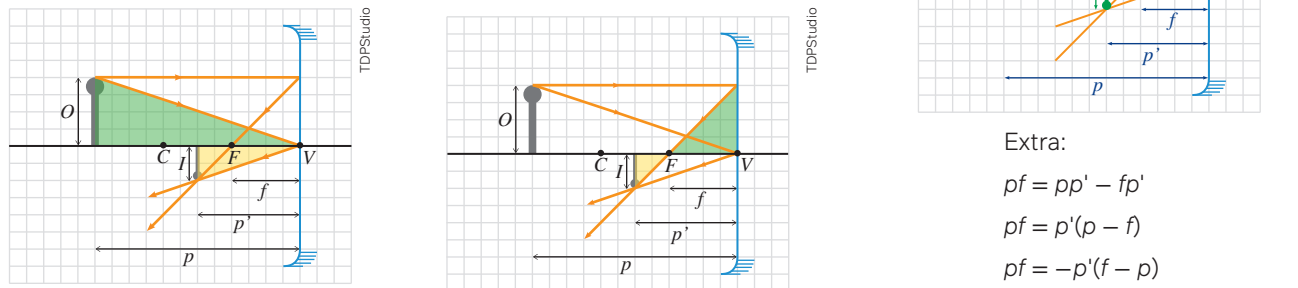
Imagens, pontos conjugados e aumento

Podemos analisar matematicamente o comportamento dos espelhos. Uma análise geométrica das imagens nos permite comparar o tamanho da imagem formada (l) ao tamanho do objeto (O), levando-nos a descobrir, por exemplo, se um telescópio está ampliando linearmente uma imagem e quantas vezes ele a amplia. Permite também determinar qual será a posição da imagem (p') se soubermos a posição de um objeto (p) e a distância focal (f) de um espelho esférico. Para isso, precisamos tratar as distâncias envolvidas como abscissas e ordenadas em um plano cartesiano, então, definimos a orientação do objeto como tendo ordenada (eixo y) positiva e a região onde de fato há luz incidente no espelho como a região de abscissas (eixo x) positivas, conforme mostrado na figura a seguir.



Exemplos de objetos e imagens com suas medidas relevantes (A, B, C) e orientação dos eixos ordenados (D, E).

Com isso, podemos determinar uma relação matemática entre o tamanho da imagem (l) e do objeto (O), chamada aumento linear transversal (a), no eixo l , O . Podemos também relacionar f , p e p' , medidos no eixo x e que assumirão valores positivos quando forem medidas reais e valores negativos quando forem virtuais, conforme figura abaixo.



por semelhança de triângulos:

$$\frac{+O}{p} = \frac{-l}{p'} \Rightarrow l = \frac{-O \cdot p'}{p}$$

$$\frac{l}{O} = \frac{-p'}{p} = a$$

equação do aumento linear transversal

por semelhança de triângulos:

$$\frac{+O}{f} = \frac{-l}{p' - f}$$

$$Op' - Of = -lf$$

$$Op' - Of = -\frac{Op'}{p}f$$

$$p' - f = \frac{p'}{p}f$$

$$pp' - pf = p'f$$

$$pp' = p'f + pf$$

$$\frac{pp'}{fp'} = \frac{p'f}{fp'} + \frac{pf}{fp'}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

equação dos pontos conjugados

Extra:

$$pf = pp' - fp'$$

$$pf = p'(p - f)$$

$$pf = -p'(f - p)$$

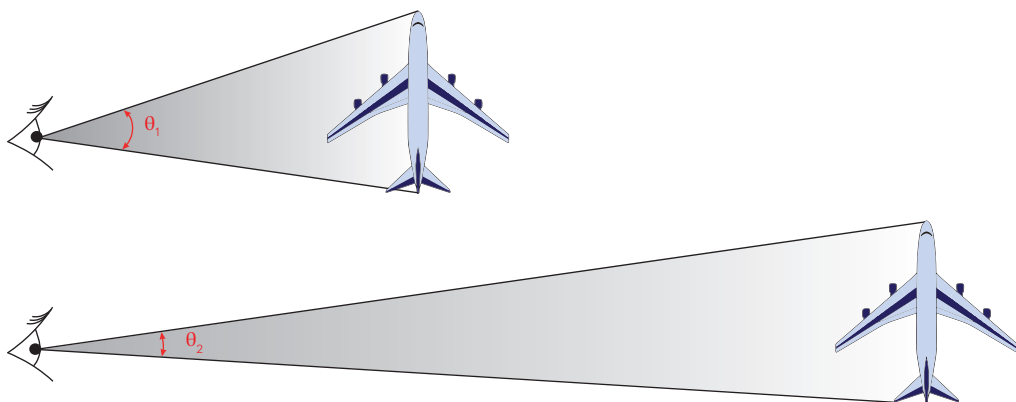
$$\frac{f}{f - p} = \frac{-p'}{p} = a$$

outra equação para o aumento linear transversal

Saiba mais

Aumento angular, a medida mais relevante na observação por telescópios

Vimos que o aumento linear promovido por um espelho não depende da posição do observador, só das alturas da imagem e do objeto, mas, quando observamos um avião comercial de perto, ele nos parece enorme. O mesmo avião, se visto a 10 km de distância, nos parece pequeno. Isso ocorre porque a impressão de grande e pequeno depende do ângulo visual com o qual enxergamos um objeto, como podemos observar na figura abaixo.



TDFStudio

Dois situações com o avião do mesmo tamanho, mas a distâncias diferentes, visto por ângulos visuais diferentes.

Então, quando olhamos por um telescópio, muitas vezes a imagem que vemos da Lua pode ser menor do que ela realmente é. Se for um telescópio feito com espelhos, o espelho promoverá uma imagem tão mais próxima do olho do observador que a Lua será vista por um ângulo visual maior, parecendo ampliada. O mesmo acontece em um telescópio feito com lentes. Generalizando, em instrumentos ópticos, seja um binóculo, uma lupa ou um telescópio, para determinarmos a ampliação e o aumento angular m produzido, deve-se calcular:

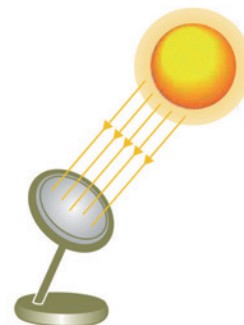
$$m = \frac{\theta_{\text{imagem}}}{\theta_{\text{objeto}}}$$

Às vezes, mesmo uma imagem menor que o objeto, se estiver posicionada muito mais próxima dos olhos do que o objeto, pode produzir um grande aumento angular.

Atividades propostas



- (UFV-MG – 2003) Um espelho esférico, cujo raio de curvatura é igual a 0,30 m, tem sua face côncava voltada na direção do Sol. Uma imagem do Sol é formada pelo espelho. A distância dessa imagem até o espelho é:
 - 0,30 m.
 - 0,15 m.
 - 0,45 m.
 - 0,60 m.
 - infinita.
- (Unesp-SP – 2022) Uma garota pegou um espelho esférico côncavo de maquiagem, apontou-o para o Sol e percebeu que uma imagem real desse astro se formou a 40 cm do espelho. Em seguida, fez-se a pergunta:
 - Se, com esse espelho, eu quiser ver uma imagem do meu rosto com duas vezes seu tamanho real e não invertida, a que distância do espelho devo me posicionar?Depois de efetuar alguns cálculos, a garota acertará a resposta à sua pergunta se encontrar:
 - 30 cm.
 - 25 cm.
 - 15 cm.
 - 20 cm.
 - 35 cm.

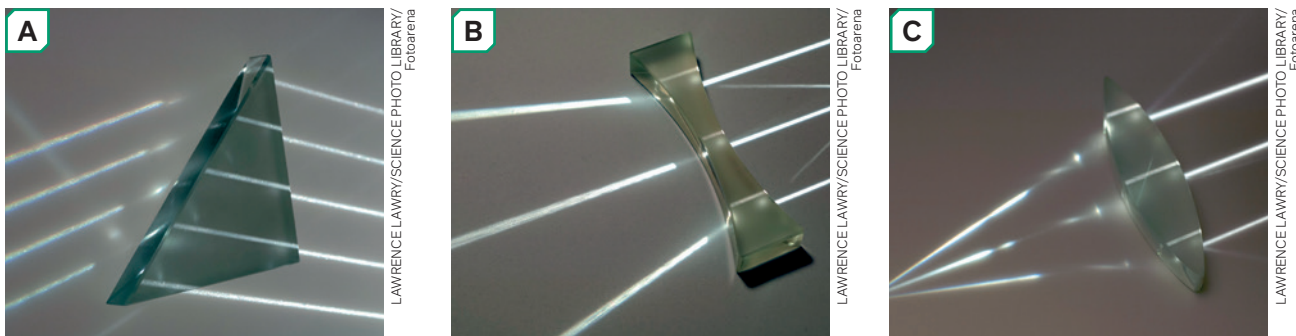


UNESP, 2022

Refração da luz

Fundamentos da refração da luz

É possível que a construção de um telescópio seja feita sem o uso de espelhos, ou seja, é possível promover aumento angular de uma imagem para um observador sem que a reflexão da luz esteja em jogo. Os primeiros telescópios, do início do século XVII, utilizavam lentes e não espelhos. Uma lente não é um instrumento voltado à reflexão da luz, mas sim à **refração da luz**. A refração é um fenômeno físico, no qual os raios de luz atravessam um meio. Em meios transparentes e homogêneos, podemos analisar a refração da luz matematicamente. É pela refração da luz que temos desvio dos raios luminosos em um prisma (A), em uma lente divergente (B) ou em uma lente convergente (C).



Desvio de raios luminosos de um feixe *laser* com raios paralelos em um prisma (A), em uma lente divergente (B) e em uma lente convergente (C).

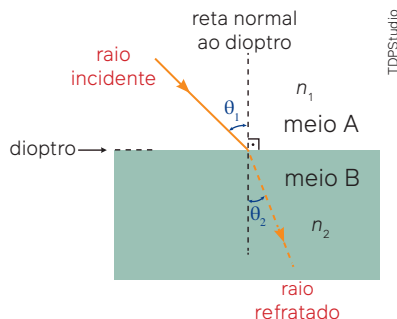
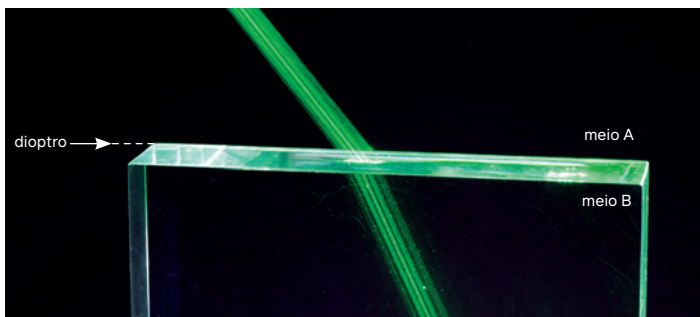
A mudança de direção da luz não ocorre apenas devido ao formato curvo ou plano das lentes, do prisma, de uma fibra óptica ou de outro. Cada material atrasa a propagação de um raio de luz de modo diferente. Tecnicamente, para justificarmos esse atraso, precisamos tratar a luz como uma onda eletromagnética e analisar a interação do campo elétrico da onda com a disponibilidade de cargas elétricas do material, mas podemos explorar os aspectos geométricos desse comportamento sem a necessidade de recorrermos às cargas elétricas.

Índice de refração e leis da refração

Primeiro, chamaremos de **índice de refração absoluto** (n) um número que descreve a propriedade de cada material de afetar a velocidade da luz. A velocidade da luz no vácuo é o maior valor conhecido de propagação da luz e vale $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, ou 300 000 km/s. Se, dentro de um material transparente, a velocidade da luz for 150 000 km/s, o índice de refração absoluto desse material será $n = 2$, pois o material teve a propriedade de afetar a velocidade de propagação da luz, reduzindo-a a $\frac{1}{2}$ de seu valor no vácuo. De modo semelhante, se dentro de outro material transparente a velocidade da luz for 100 000 km/s, seu índice de refração absoluto será $n = 3$. Generalizando:

$$n_{\text{mat}} = \frac{c}{v_{\text{mat}}}$$

Os índices de refração de cada material têm uma relação matemática com o ângulo de desvio da luz em uma lente, em um prisma, na superfície da água ou em outro **dióptro**, que é o nome dado à superfície que separa dois meios de propagação da luz. Veja as figuras a seguir:



Experimento com refração da luz em um bloco transparente (à esquerda) e esquematização geométrica da análise da refração (à direita).

Em uma refração, tem-se sempre o raio de luz incidente, o raio de luz refratado e a reta normal em um mesmo plano (primeira lei da refração). Ainda, os ângulos de incidência (θ_1) e de refração (θ_2) se relacionam matematicamente segundo a lei de Snell-Descartes (segunda lei da refração):

$$\text{sen } \theta_1 \cdot n_1 = \text{sen } \theta_2 \cdot n_2$$

Para um mesmo meio, cada parte do espectro eletromagnético possui um índice de refração diferente, isto é, para um mesmo vidro, por exemplo, o índice de refração da luz vermelha é diferente do índice de refração da luz verde ou violeta. Utilizamos o termo “refringente” para nos referir aos índices de refração absolutos dos materiais: quanto maior o valor do índice, mais refringente o material é. Por isso, o vácuo ($n = 1$) é o meio menos refringente de que se tem notícia.

Ângulo limite e reflexão total

Observando-se matematicamente a lei de Snell-Descartes, concluímos que, quanto mais refringente o meio for, mais próximo à reta normal o raio de luz estará (maior “n” implica menor θ , uma vez que θ está sempre entre 0 e $\pi/2$). Com isso, se um raio de luz passa de um meio mais refringente para um meio menos refringente, ele se afasta da reta normal, podendo chegar a uma situação-limite a partir da qual a luz não mais emerge para o outro meio, como podemos observar na figura a seguir.

A reta normal ao dioptro, raios refratados, meio A refração limite, meio B, reflexão total, dioptro, $n_1 < n_2$

B reta normal ao dioptro, meio A refração limite, meio B, dioptro, $n_1 < n_2$, i

Pela lei de Snell-Descarte

$$\text{sen } \hat{i} \cdot n_A = \text{sen } r \cdot n_B$$

$$\text{sen } \hat{L} \cdot n_A = \text{sen } 90^\circ \cdot n_B$$

$$\text{sen } \hat{L} = \frac{1}{n_A}$$

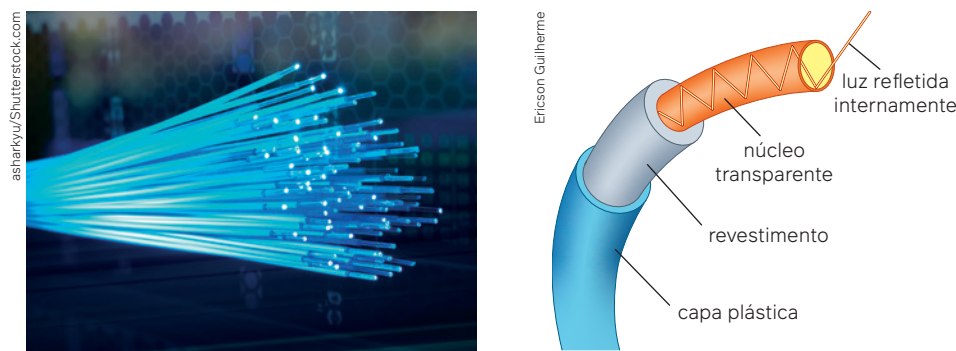
← menos refringente
← mais refringente

caso o meio menos refringente seja o ar ou o vácuo, teremos:

$$\text{sen } \hat{L} = \frac{n_A}{n_B}$$

Raios de luz podem sofrer refração ou reflexão ao atingir um meio menos refringente, a depender do ângulo de incidência (A). Ângulo limite de refração (B).

A reflexão interna total da luz, que ocorre quando o ângulo de incidência é maior que o ângulo limite, é o que possibilita a transmissão de dados utilizando uma fibra óptica.



Pontas de um feixe de fibra óptica (à esquerda) e representação de partes de uma fibra óptica (à direita).

Embora a refração da luz tenha permitido grande avanço no conhecimento sobre o céu, com as lentes, uma de suas consequências, a fibra óptica, desempenha atualmente um papel fundamental tanto na construção de redes de dados astronômicos, que conectam telescópios e servidores de computador no mundo, quanto em técnicas de ponta como, entre outras, a espectroscopia de múltiplos objetos. Nesta última, feixes de fibra óptica são conectados a uma placa no plano focal dos telescópios e a radiação direta dos astros é conduzida pela fibra óptica para análise.

Lentes esféricas

A invenção dos primeiros telescópios e o domínio de técnicas de fabricação de lentes ocorreram de modo simultâneo. As lentes são elementos de vidro, cristal, acrílico, ou outro material transparente que têm ao menos uma de suas faces curvas. A curvatura das faces das lentes promove desvios da luz convergindo os raios para um mesmo ponto focal, no caso das **lentes convergentes**, ou divergindo os raios de luz a partir de um mesmo foco, no caso das **lentes divergentes**.

Entretanto, como o desvio da luz ocorre por causa da refração, uma mesma lente pode mudar seu comportamento óptico quando se muda o meio no qual ela está. É por essa razão que não conseguimos focalizar imagens quando estamos mergulhando e abrimos o olho: a visão tem um comportamento óptico quando olhamos pelo ar e outro quando olhamos pela água. Em casos extremos, podemos ter uma mesma lente convergente no ar e divergente na água.

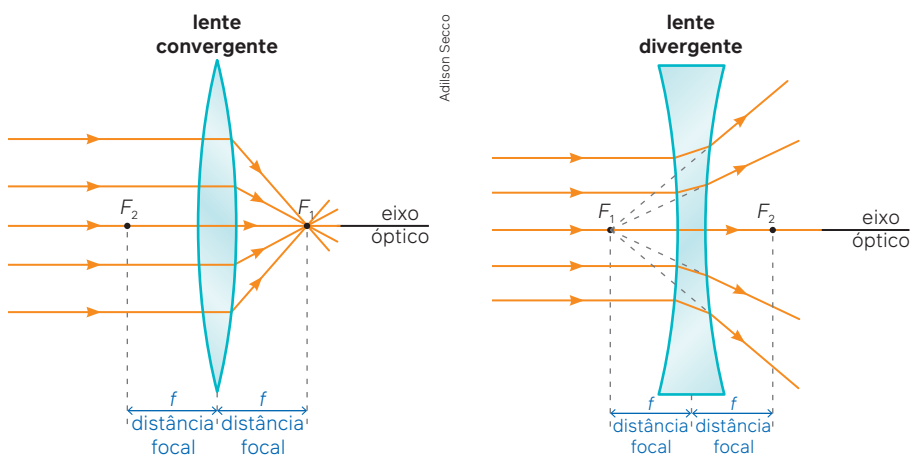
Se uma lente possui o mesmo índice de refração do meio, a luz não se desvia ao passar por ela. Logo, o comportamento de uma lente depende de sua geometria, mas também dos índices de refração tanto da lente quanto do meio a seu redor.



Exemplo de uma lente de vidro parcialmente no ar, desviando a luz, e parcialmente submersa em um líquido de mesmo índice de refração, não mais desviando a luz.

Tipos de lentes e raios notáveis

Com relação ao comportamento óptico, as lentes podem ser classificadas como convergentes ou divergentes.



Exemplo de lentes convergente e divergente com feixe de raios paralelos incidentes determinando a posição do foco principal.

Com relação ao formato das faces das lentes, temos lentes que são de bordas finas (o centro da lente é mais espesso que as bordas) e lentes que são de bordas largas (o centro da lente é menos espesso que as bordas). Aplicando-se a lei de Snell-Descartes para os raios de luz nas faces das lentes, podemos determinar seu comportamento óptico. As lentes de bordas finas são convergentes e as de bordas largas são divergentes, isso sempre que seu material for mais refringente que seu entorno, que é o caso mais comum, uma vez que tipicamente usamos lentes imersas no ar (como uma lente de vidro), e o ar tem índice de refração próximo ao índice do vácuo. Em alguns casos, temos o índice de refração da lente menor que o índice de refração do meio. Uma bola de ar dentro d'água tem essa característica. Nesses casos, o comportamento óptico das lentes se inverte.

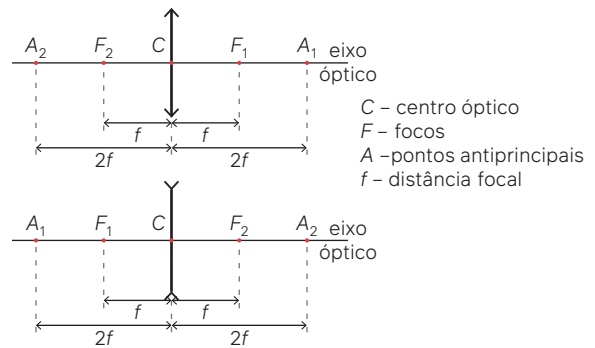
	lentes de bordas finas	lentes de bordas largas
	<p>lente plano-convexa lente bi-convexa lente concavo-convexa</p>	<p>lente plano-côncava lente bi-côncava lente convexo-côncava</p>
material da lente mais refringente que o meio	as lentes de bordas finas se comportam como lentes convergentes 	as lentes de bordas largas se comportam como lentes divergentes
material da lente menos refringente que o meio	as lentes de bordas finas se comportam como lentes divergentes 	as lentes de bordas largas se comportam como lentes convergentes

Ilustrações: Adilson Secco

Formatos das lentes esféricas e seu comportamento óptico.

Do ponto de vista analítico, utilizamos apenas a representação simplificada de lentes convergentes e de lentes divergentes, conforme mostrado na figura anterior. Indicamos seu foco, seu centro óptico e um ponto duas vezes mais distante da lente do que o foco, chamado de ponto antiprincipal da lente (figura a seguir). Com esses elementos, podemos analisar o comportamento dos raios de luz ao passar pelas lentes e como isso produz imagens.

Alguns raios de luz nas lentes têm comportamento notável e nos permitem prever como uma lente se comportará. Já vimos que o foco desempenha um papel importante na definição das lentes. Raios que incidem nas lentes paralelos emergem delas passando pelo foco (i). Como os raios de luz são reversíveis, raios de luz que incidem nas lentes pela direção do foco emergem delas paralelos (ii). O centro óptico das lentes é o ponto no qual a luz incidente atravessa sem desvio (iii). E o ponto antiprincipal é aquele que permite um comportamento simétrico da luz ao passar pela lente (iv).



Elementos ópticos das lentes que auxiliam a localização das imagens e o comportamento dos raios de luz.

	Lente convergente	Lente divergente
i		
ii		
iii		
iv		

Ilustrações: Adilson Secco

Raios de luz notáveis nas lentes esféricas convergentes e divergentes.

O chamado “grau” de uma lente tem relação inversa com a distância focal da lente. Quando dizemos que uma lente possui +2 graus, estamos, na verdade, dizendo que a convergência da lente é $C = +2$ dioptrias (ou m^{-1}), e isso significa que a lente é convergente (+) e que a distância focal é de $\frac{1}{2}$ m. Para uma convergência $C = +3$ di, tem-se distância focal de $\frac{1}{3}$ m e a lente é convergente. Para uma convergência $C = -5$ di, significa que a lente é divergente e sua distância focal é $f = -1/5$ m. Logo, a convergência “C” de uma lente é dada pelo inverso da distância focal:

$$C = \frac{1}{f}$$

É importante observar, como apresentado anteriormente, que a convergência é medida em dioptrias, unidade que descreve a capacidade de uma lente em convergir ou divergir um feixe de raios de luz.

Construção de uma luneta de Galileu

Podemos reproduzir uma versão simplificada do telescópio de Galileu com lentes de óculos. Nesta proposta, seguiremos as instruções de Canalle (2004) que, em artigo científico, oferece um passo a passo da construção da luneta de Galileu para uso didático. A dificuldade de construir um bom telescópio está em encontrar boas lentes que cumpram o papel de objetiva (voltada ao objeto) e ocular (voltada ao olho). Em lojas de venda e montagem de óculos, é possível solicitar uma lente com convergência (grau) e tamanho determinados. Recomenda-se que seja avisado que a lente é para uso astronômico (logo, não há receita médica). O que se deseja é uma lente transparente de convergência $C = +1$ di e de diâmetro 50 mm (para que se encaixe em um cano de PVC de 50 mm).

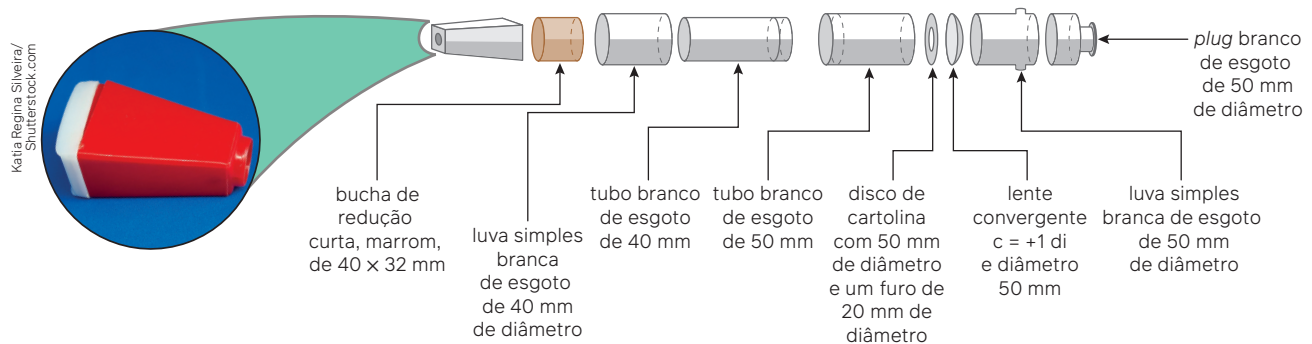
Para a lente ocular, um antigo monóculo de fotografia pode ser utilizado.

Material:

- luva simples branca de esgoto de 2" (= 50 mm);
- lente transparente de óculos de 1 grau positivo;
- disco de cartolina preta (ou papel-camurça preto) de 50 mm de diâmetro, com furo interno de 20 mm de diâmetro;
- 70 cm de tubo branco de esgoto de 2" (= 50 mm);
- 70 cm de tubo branco de esgoto de 1½" (= 40 mm);
- luva simples branca de esgoto de 1½" (= 40 cm);
- bucha de redução marrom de 40 mm x 32 mm;
- monóculo de fotografia;
- *plug* branco de esgoto de 2" (= 50 mm);
- lata de tinta *spray* preto-fosca (opcional);
- rolo de esparadrapo de aproximadamente 12 mm de largura por 4,5 m de comprimento;
- lata pequena de vaselina em pasta;
- caixa pequena de Durepoxi ou similar.

Procedimento

A essência da luneta de Galileu é ter a lente objetiva em uma extremidade do cano maior, a lente ocular na outra e que os canos possam deslizar um dentro do outro, variando a distância entre eles. A montagem pode ser adaptada. Para os materiais sugeridos acima, deve-se montar segundo a figura a seguir.



Sequência de peças e encaixes para a luneta de Galileu.

CANALLE, J. B. G. A luneta com lente de óculos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Santa Catarina, v. 22, n. 1, p. 121-130, 2004. Adaptado.

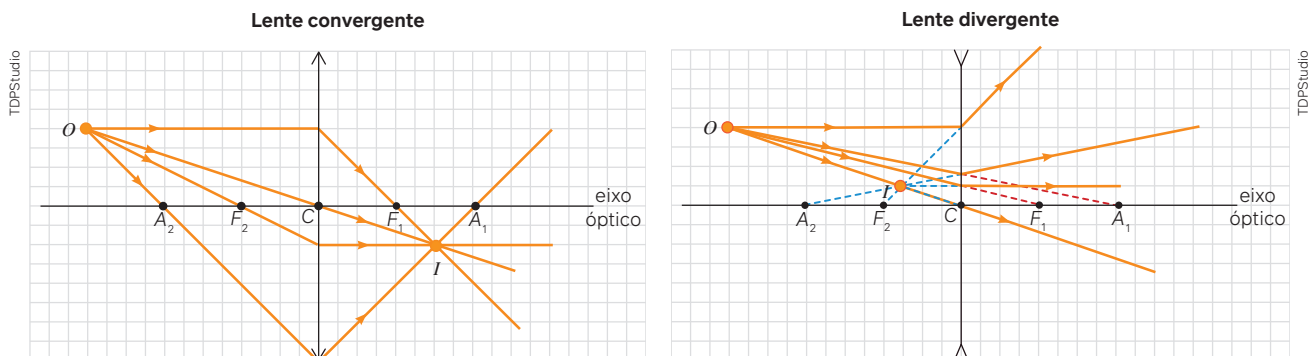
Para que os encaixes fiquem mais firmes, eles podem ser apoiados em uma ripa de madeira. Uma vez montadas todas as peças, a observação das crateras lunares, preferencialmente em noites de luas crescentes e minquantes, e das quatro grandes luas de Júpiter, preferencialmente em noites sem lua cheia, será possível. O ajuste do foco é feito deslizando-se os tubos brancos ligeiramente para a frente e para trás, variando assim a distância entre as lentes.

Trocando ideias

1. Por que buscamos observar o céu ao longo da história, sempre tentando ver mais detalhes?
2. Como saber que as luas de Júpiter estão orbitando em torno daquele planeta?
3. Como a imagem de um objeto remoto pode se formar a partir de duas lentes na luneta?
4. Ao montar a luneta com partes de tubos de PVC, você acha que Galileu conseguiu fazer seus registros observando o céu com muita precisão para a época?

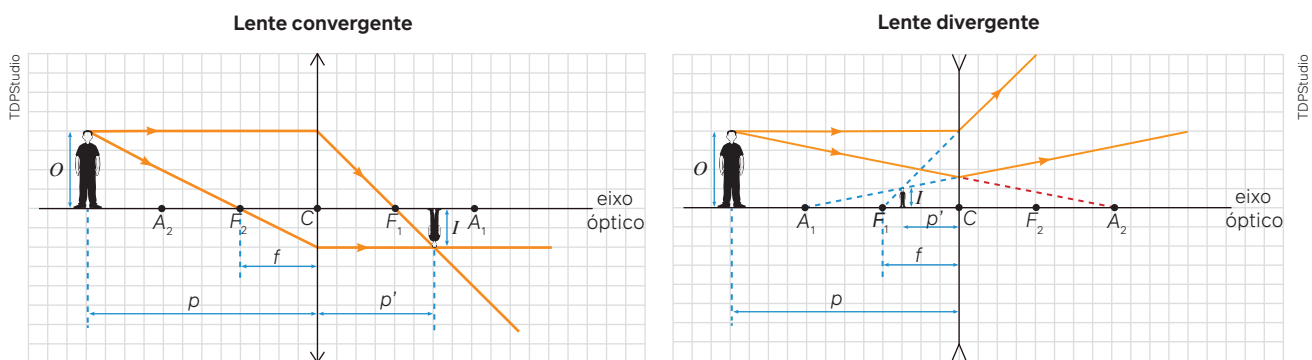
Formação de imagens em lentes

Como qualquer outro sistema óptico, as lentes são sistemas onde incidem raios de luz e de onde emergem raios de luz. Assim, continuamos tendo, no cruzamento dos raios incidentes, o ponto objeto; e no cruzamento dos raios emergentes, o ponto imagem. Seja em uma lente convergente, seja em uma lente divergente, o uso de dois ou mais dos raios notáveis é suficiente para que um objeto tenha sua imagem localizada.



Uso dos quatro raios de luz notáveis para formação de imagens em uma lente convergente (à esquerda) e em uma lente divergente (à direita).

O estudo analítico das posições de objeto (p) e de imagem (p'), bem como dos tamanhos de objeto (O) e de imagem (I) e o aumento linear transversal, segue a mesma equação de Gauss que vimos nos espelhos esféricos.



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Equação de Gauss

$$\alpha = \frac{I}{O} = -\frac{p'}{p}$$

Aumento linear transversal

Uso dos raios de luz notáveis formando uma imagem em uma lente convergente (à esquerda) e em uma lente divergente (à direita).

A utilização da equação de Gauss em lentes é semelhante a seu uso em espelhos esféricos. Há que se considerar que para lentes convergentes os focos são reais e, por isso, as distâncias focais são positivas na equação. Da mesma forma, para lentes divergentes, as distâncias focais são negativas. Ainda, para posição do objeto e da imagem, vale a mesma lógica de sinais: objetos reais (p com valor positivo) e objetos virtuais (p com valor negativo); imagens reais (p' com valor positivo) e imagens virtuais (p' com valor negativo)

Saiba mais

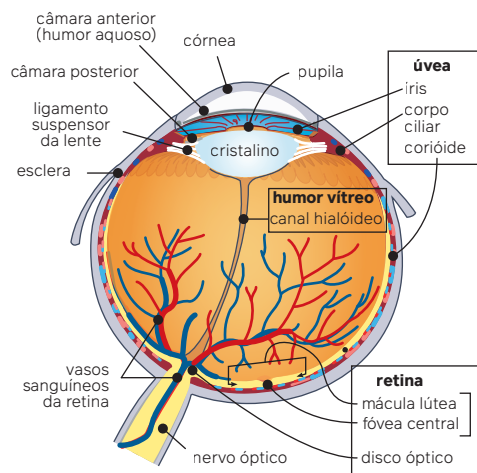
Olho humano: o instrumento primeiro de observação do céu

Toda observação astronômica óptica acaba por ser registrada pela visão de quem está fazendo uma determinada pesquisa ou de entusiastas da astronomia amadora. A visão humana é caracterizada pelas estruturas do olho, como pode ser observado na figura a seguir, que são capazes de convergir os raios de luz do ambiente, formando uma imagem sobre a retina e ali sensibilizando células fotossensíveis que emitem um sinal pelo nervo óptico. Esse sinal é interpretado por mais de 30 regiões diferentes do cérebro, em que as nuances, as cores, os movimentos, as formas e muitos outros aspectos da visão são registrados.

Dizemos que a visão de uma pessoa é emetropia quando o cristalino do olho se ajusta, mudando sua distância focal para que, mesmo a diferentes distâncias, uma imagem seja sempre formada sobre a retina. Para um olho emetropia adulto, em média, a mínima distância que um objeto pode estar do olho para que uma imagem seja formada sobre a retina é de 25 cm. Essa distância é chamada de **ponto próximo** do olho. Então, olhando para o infinito, um olho emetropia também consegue formar uma imagem focalizada sobre a retina. O infinito é a maior distância (**ponto remoto**) de um objeto, tal que o olho humano consiga formar uma imagem sobre a retina.

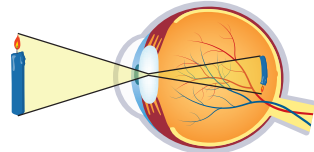
Quando um objeto muito distante é visto de modo embaçado por uma pessoa, é possível que a causa desse embaçamento seja a miopia. Na miopia, a imagem é formada antes da retina. O ponto remoto para um olho míope está mais próximo. Então, para correção, é necessário utilizar uma lente divergente que tome um objeto no infinito e forme uma imagem direita; logo, uma imagem virtual (p') no local onde o míope consegue enxergar bem, ou seja, em seu ponto remoto (**A**).

Já quando um objeto próximo não pode ser focalizado, pois tem sua imagem além da retina, tem-se um caso de hipermetropia. Na hipermetropia é comum vermos pessoas esticando o braço para ler mais de longe, pois só ali, mais distante, tem-se o ponto próximo do olho hipermetrópe. Para correção, deve-se usar uma lente convergente que tome um objeto a 25 cm do olho e forme uma imagem direita, portanto virtual (p'), no local onde é o ponto próximo do olho hipermetrópe (**B**).



Estruturas de um olho humano.

A Miopia: objetos remotos com imagem antes da retina.



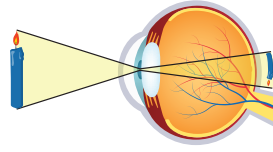
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-p_{rem\ miope}}$$

Correção da miopia: uso de lentes divergentes.

$$C = -\frac{1}{p_{rem\ miope}}$$

B Hipermetropia: objetos próximos com imagem além da retina.



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{0,25\text{ m}} + \frac{1}{-p_{prox\ hip}}$$

Correção da hipermetropia: uso de lentes convergentes.

$$C = \frac{1}{0,25\text{ m}} + \frac{1}{-p_{prox\ hip}}$$

Ametropias mais comuns e suas correções. Na figura (**A**) temos a miopia e na (**B**) temos a hipermetropia.

Há outras ametropias da visão, como a presbiopia, semelhante à hipermetropia, e o astigmatismo, que promove uma formação de imagem em eixos diferenciados devido a irregularidades no formato da córnea.

Atividades comentadas

1. Considere as duas situações descritas na figura ao lado. Podemos afirmar que:
 - a) as bolhas de ar dentro da água se comportam como lentes convergentes.
 - b) as gotas d'água não permitem passagem da luz.
 - c) as bolhas de ar na água se comportam como espelhos côncavos.
 - d) as gotas d'água no ar se comportam como lentes divergentes.
 - e) as bolhas de ar na água se comportam como lentes divergentes.

Resolução

Tanto uma gota d'água quanto uma bolha de ar são geometricamente uma lente de bordas finas, pois têm seu centro mais espesso que suas bordas. E, como tal, quando uma gota d'água está imersa no ar, ela é uma lente de bordas finas, feita de um material mais refringente que o meio (a água é mais refringente que o ar) e se comporta como uma lente convergente. A bolha de ar dentro da água é uma lente de bordas finas feita de um material menos refringente que o meio e, por isso, se comporta como uma lente divergente. Alternativa **e**.

bolhas de ar na água



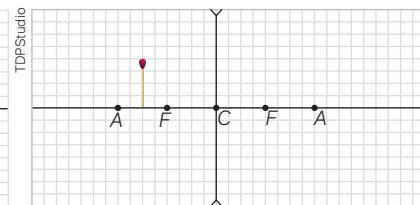
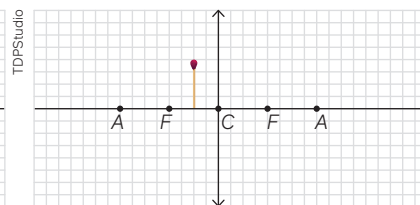
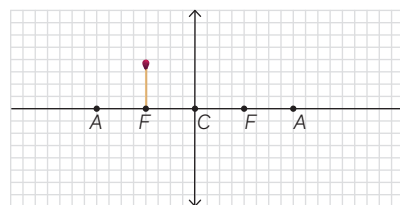
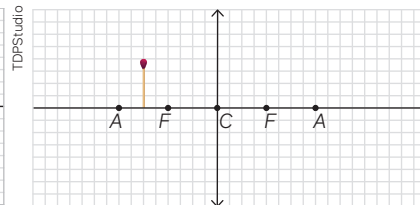
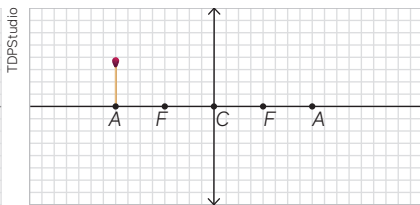
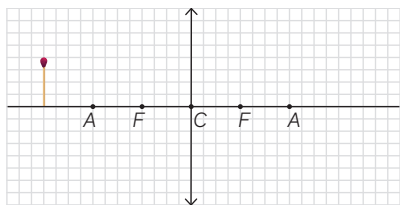
Olga Nikonova/Shutterstock.com

gotas d'água no ar



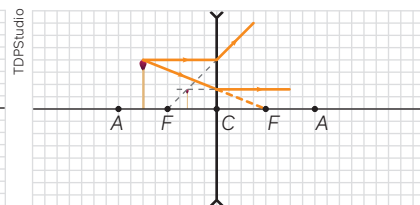
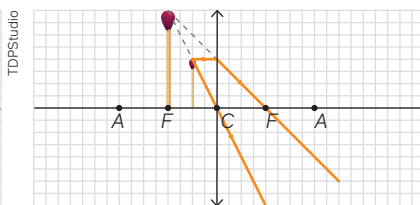
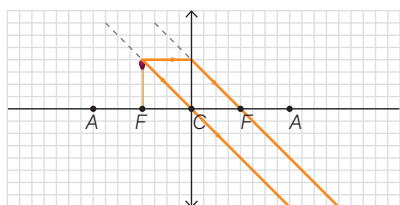
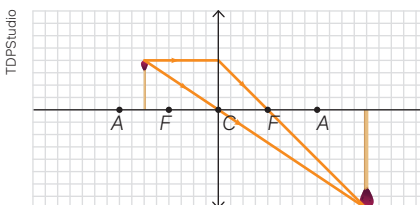
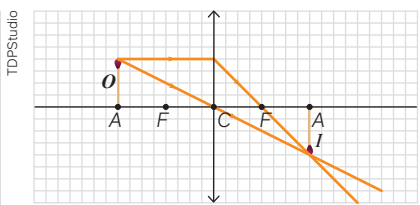
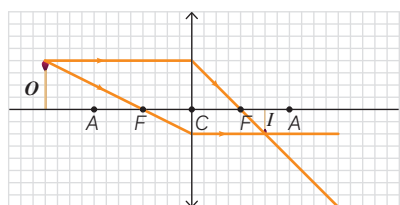
Illna99/Shutterstock.com

2. Para cada caso de um palito de fósforo à frente de uma lente, a seguir, indique se a imagem é real ou virtual, direita ou invertida, maior ou menor que o objeto.



Resolução

Para cada um dos casos, basta tomar dois dos raios de luz notáveis e localizar a imagem.



3. Uma lupa é feita de uma lente convergente de distância focal $f = +0,2$ m. Qual será o aumento linear produzido quando a lupa estiver a 4 cm de um objeto?

Resolução

O aumento é dado por:

$$a = \frac{f}{f - p} \Rightarrow a = \frac{0,2}{0,2 - 0,04} \Rightarrow a = \frac{0,2}{0,16} \Rightarrow a = +1,25$$

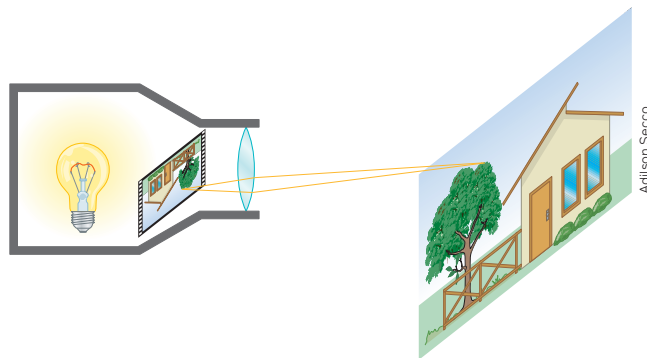
Atividades propostas



- Uma lupa, para ampliar a imagem de um objeto, sem invertê-la, deve ter:
 - uma lente divergente com o objeto posicionado entre o foco e o ponto antiprincipal da lente.
 - uma lente convergente com o objeto posicionado entre o foco e o ponto antiprincipal da lente.
 - uma lente divergente com o objeto posicionado entre o foco e o centro óptico da lente.
 - uma lente convergente com o objeto posicionado entre o foco e o centro óptico da lente.
 - uma lente divergente com o objeto posicionado além do ponto antiprincipal da lente.
- Um projetor de cinema consiste em um sistema de lentes convergentes que projeta uma imagem real e invertida de um pequeno fotograma iluminado.

Se um objeto colocado a 10 cm da lente do projetor tem uma imagem ampliada 800 vezes projetada, de modo focalizado na tela de cinema, a que distância a tela deve estar do projetor?

- a) 2 m
- b) 4 m
- c) 8 m
- d) 16 m
- e) 32 m



Recapitule



Ao longo deste capítulo, aprendemos diferentes instrumentos de observação do céu, sempre pautados em fundamentos da Óptica Geométrica e dos fenômenos ópticos para seu entendimento. Também discutimos as astronomias de povos originários e até construímos uma luneta semelhante àquela utilizada no século XVII na Europa. Agora, retomando as questões de abertura do capítulo, como você as responde?

1. A Física é marcada pela experimentação. Mas essa não é a única forma de produzir conhecimento sobre a natureza. Como alguém, daqui da Terra, pode produzir conhecimento sobre os astros no céu?
2. Por que vemos um avião aparentemente pequeno quando ele está a grandes distâncias?
3. Por que diferentes lentes podem produzir imagens com tamanhos diferentes?
4. Agora que você conhece um pouquinho mais sobre a observação do céu pela óptica geométrica, como defenderia o investimento de recursos públicos na construção de grandes telescópios para explorar o cosmos?

Planeje e resolva

Representação artística do Universo

A imensidão do céu e os fenômenos a ele relacionados vêm interessando os seres humanos há milênios. Da Grécia a Roma antiga, com suas mitologias, até os povos originários da América, como os tembés e os tupinambás do Maranhão que, séculos antes dos europeus, já sabiam que a Lua exercia uma forte influência sobre as marés. Em diferentes lugares do mundo, povos originários utilizavam as estrelas como referência para navegar, para marcar o tempo ou para identificar a chegada e a volta de períodos como o inverno, por exemplo, entre outros fenômenos naturais. As constelações e os demais astros visíveis no céu tinham, assim, uma forte influência sobre a vida dos coletivos humanos tanto nas tribos brasileiras quanto no restante do mundo. Ainda hoje, esse tema evoca descobertas e dúvidas no conhecimento compartilhado pelo espírito e mente de seres humanos em diferentes culturas, inclusive a científica.

Mas como isso se manifesta? Uma das maneiras que a humanidade inventou para expressar dúvidas e conhecimento lado a lado, é a arte. Assim, a Toca do Cosmos, no interior da Bahia, é um dos locais que testemunha o conhecimento dos povos originários que viveram ou passaram naquela região. Muito do que está desenhado lá faz referência aos eventos que ocorrem no céu. Os desenhos encarregaram-se de trazer essa história desde aquele tempo até nós e descrevem elementos vistos ou vividos pelos artistas que os realizaram.

Agora é com você!

Planeje e produza uma exposição para os colegas do Ensino Médio sobre as visões que os artistas têm do universo, como são expressas e como evoluíram com o passar do tempo. Podem ser obras de artistas reconhecidos, fotografias de grafites, reproduções de quadros, entre outras expressões artísticas.

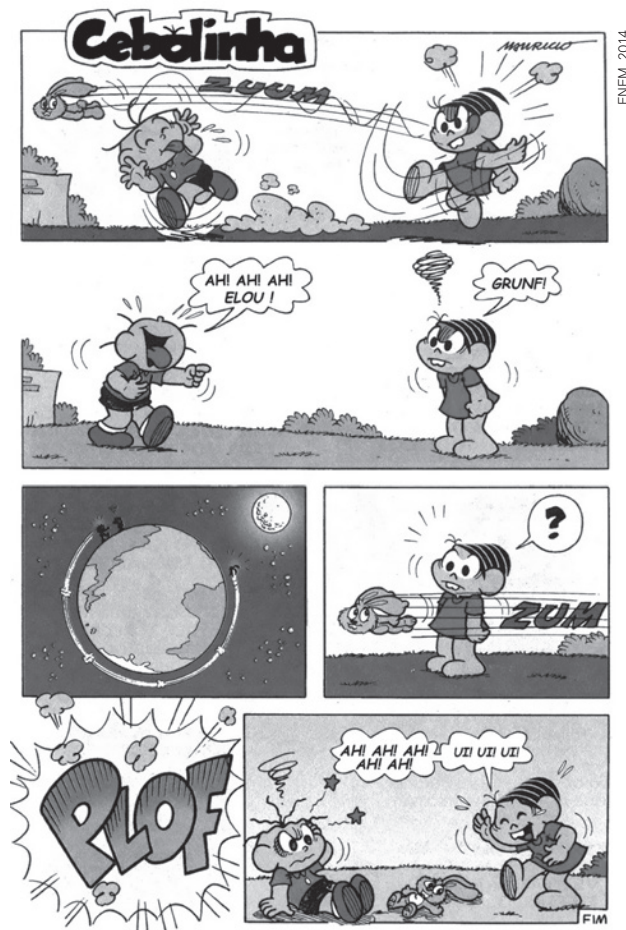
Para que os visitantes possam aproveitar as obras e compreender como elas se relacionam com a Ciência, pesquise sobre a intenção dos artistas ao produzir a obra, elabore um texto sobre o que ela representa e apresente aos visitantes por meio do suporte que melhor se adaptar ao modelo elaborado, como um arquivo de áudio ou uma reconstituição em maquete. Disponibilize o material para que os visitantes possam expressar, por meio da escrita e do desenho, suas próprias impressões em relação às obras observadas. Ao final, a comparação entre os diferentes modos de compreender as obras vai ajudar você e seus colegas a perceber que há tantas formas de compreender a arte e o Universo quanto seres humanos para olhar para elas.



Pinturas rupestres associadas à tradição astronômica. Sítio arqueológico Toca do Cosmos, Bahia, 2019.



1. (Enem – 2014) Um professor utiliza essa história em quadrinhos para discutir com os estudantes o movimento de satélites. Nesse sentido, pede a eles que analisem o movimento do coelho, considerando o módulo da velocidade constante.



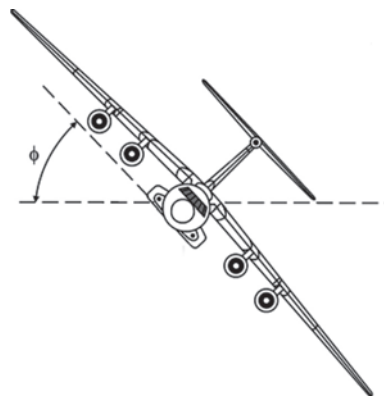
Desprezando a existência de forças dissipativas, o vetor aceleração tangencial do coelho, no terceiro quadrinho, é

- nulo.
 - paralelo à sua velocidade linear e no mesmo sentido.
 - paralelo à sua velocidade linear e no sentido oposto.
 - perpendicular à sua velocidade linear e dirigido para o centro da Terra.
 - perpendicular à sua velocidade linear e dirigido para fora da superfície da Terra.
2. (FCB – 2021) Dois corpos celestes, um planeta e a sua Lua, têm respectivamente massa $6 \cdot 10^{44}$ kg e $7 \cdot 10^{22}$ kg, sendo o quadrado da distância entre eles $3,84 \cdot 10^{22}$ metros.

Qual a Força de atração gravitacional apresentada entre eles?

Dado: Constante gravitacional = $6,67 \cdot 10^{-11}$ N · m²/kg².

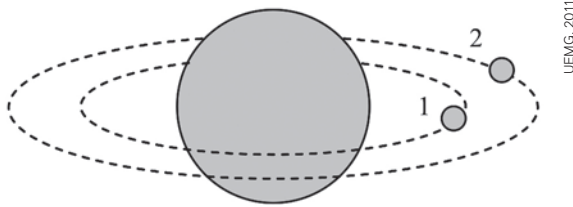
- $1,5 \cdot 10^{28}$ N
 - $2,0 \cdot 10^{30}$ N
 - $7,3 \cdot 10^{34}$ N
 - 100 N
 - $1 \cdot 10^{32}$ N
3. (Unieva – 2022) Um avião está sobrevoando uma cidade, realizando uma manobra para pouso seguindo as recomendações da torre de comando. As asas estão inclinadas em um ângulo $\theta = 45^\circ$ com a horizontal, conforme figura a seguir. Considere que a força necessária para manter o avião nessa trajetória resulte inteiramente de uma “sustentação aerodinâmica” perpendicular à superfície das asas. Dessa forma, a aeronave realiza em voo uma circunferência horizontal de raio $R = 2250$ m e velocidade constante de 150 m/s, caracterizando um movimento circular uniforme (MCU), possuindo uma aceleração dirigida para o centro da circunferência. De acordo com a segunda lei de Newton, existe uma força responsável por essa aceleração, que também estará dirigida para o centro da circunferência. Trata-se de uma força centrípeta.



A força centrípeta não é um novo tipo de força; indica apenas a direção. Assim,

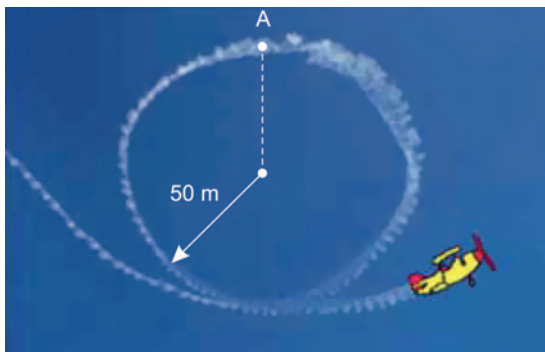
- a força centrípeta acelera um corpo, modificando a direção da velocidade, sem mudar a velocidade escalar.
- a força centrípeta desacelera um corpo, sem modificar a direção da velocidade, alterando a velocidade escalar.
- a força centrípeta desacelera um corpo, sem modificar a direção da velocidade e sem mudar a velocidade escalar.
- a força centrípeta acelera um corpo, modificando a direção da velocidade, alterando a velocidade escalar.

4. (UEMG – 2011) A figura a seguir representa dois satélites artificiais em órbita, em torno da Terra.



Baseando-se nas leis de Kepler, e diante da representação mostrada, É CORRETO afirmar que

- a) os satélites 1 e 2 possuem a mesma velocidade.
 b) o satélite 2 percorre uma distância maior que o satélite 1, num mesmo intervalo de tempo.
 c) o satélite 2 leva mais tempo que o satélite 1 para dar uma volta completa em torno da Terra.
 d) os satélites 1 e 2 dão uma volta completa em torno da Terra no mesmo intervalo de tempo.
5. (Famerp-SP – 2017) Em uma exibição de acrobacias aéreas, um avião pilotado por uma pessoa de 80 kg faz manobras e deixa no ar um rastro de fumaça indicando sua trajetória. Na figura, está representado um looping circular de raio 50 m contido em um plano vertical, descrito por esse avião.



Adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e considerando que ao passar pelo ponto A, ponto mais alto da trajetória circular, a velocidade do avião é de 180 km/h, a intensidade da força exercida pelo assento sobre o piloto, nesse ponto, é igual a

- a) 3000 N. c) 3200 N. e) 2400 N.
 b) 2800 N. d) 2600 N.
6. (Enem – 2018) A Lei da Gravitação, de Isaac Newton, estabelece a intensidade da força entre dois objetos. Ela é dada pela equação $F = g \frac{m_1 m_2}{d^2}$ sendo m_1 e m_2

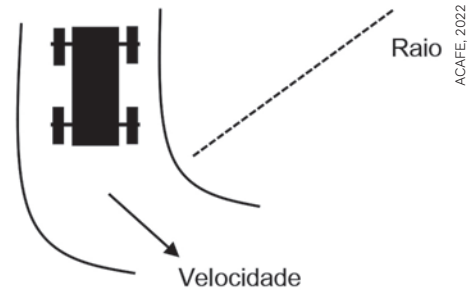
as massas dos objetos, d a distância entre eles, g a constante universal da gravitação e F a intensidade da força gravitacional que um objeto exerce sobre o outro.

Considere um esquema que represente cinco satélites de mesma massa orbitando a Terra. Denote os

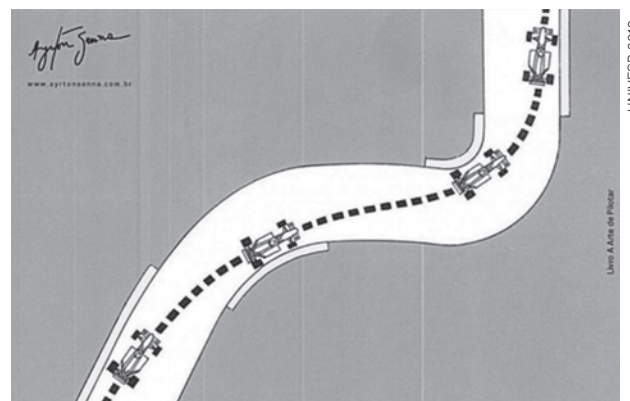
satélites por A, B, C, D e E, sendo esta a ordem decrescente da distância da Terra (A o mais distante e E o mais próximo da Terra).

De acordo com a Lei da Gravitação Universal, a Terra exerce maior força sobre o satélite

- a) A. c) C. e) E.
 b) B. d) D.
7. (Acafe-SC – 2022) Uma comissão de engenheiros necessita fornecer alguns dados técnicos a uma fábrica de pneus. Para uma curva de raio 120 metros, quando um veículo entra na mesma com velocidade de 108 km/h, qual deverá ser o coeficiente de atrito ' μ ' entre os pneus e o asfalto para o carro não derrapar? Dados: $g = 10 \text{ m/s}^2$.



- a) 0,09. c) 0,9.
 b) 0,75. d) 0,075.
8. (Univesp – 2019) Em corridas de Fórmula 1, é comum vermos os pilotos se aproximarem da parte interna de uma curva e optarem por uma trajetória tangente a essa. Nessa categoria de automobilismo, milésimos de segundos fazem a diferença. Portanto, quanto menor for o tempo para percorrer um trajeto, melhor será a performance.
- A figura apresenta a trajetória de um carro de Fórmula 1 percorrendo uma sequência de curvas, denominada de chicane, logo após uma longa reta.
- Para o piloto efetuar as curvas com maior segurança e melhor performance, ele deverá aumentar a força de atrito.



Assim sendo, podemos deduzir corretamente que, ao iniciar a curva, ele deve procurar

- a) aumentar o raio de curvatura e aumentar a velocidade tangencial, aumentando a força centrípeta.
- b) aumentar o raio de curvatura e diminuir a velocidade tangencial, aumentando a força centrípeta.
- c) aumentar o raio de curvatura e diminuir a velocidade tangencial, diminuindo a força centrípeta.
- d) diminuir o raio de curvatura e diminuir a velocidade tangencial, diminuindo a força centrípeta.
- e) diminuir o raio de curvatura e aumentar a velocidade tangencial, aumentando a força centrípeta.

9. (UFMT – 2009) Um motociclista de Globo da Morte, preocupado com seu sucesso no espetáculo, pede a um professor de física para calcular a velocidade mínima que terá que imprimir à sua moto para não cair no momento de passar pelo teto do globo. Considerando o raio do globo igual a 250 cm e a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 , qual deverá ser a velocidade mínima?

- a) 2,5 m/s. c) 50,0 m/s. e) 10,0 m/s.
- b) 25,0 m/s. d) 5,0 m/s.

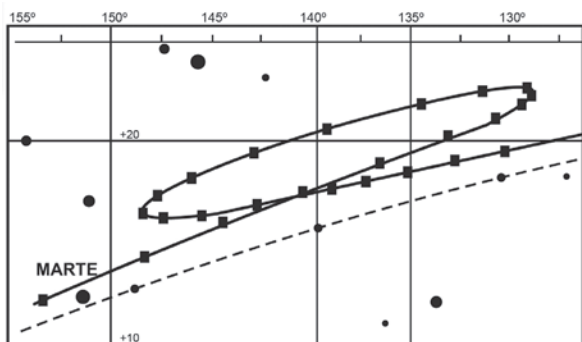
10. (Unicamp-SP – 2022) Em abril de 2021 faleceu o astronauta norte-americano Michael Collins, integrante da missão Apolo 11, que levou o primeiro homem à Lua. Enquanto os dois outros astronautas da missão, Neil Armstrong e Buzz Aldrin, desceram até a superfície lunar, Collins permaneceu em órbita lunar pilotando o Módulo de Comando Columbia.

A órbita do Columbia era aproximadamente circular, e o módulo da aceleração gravitacional na órbita era $g_{\text{orb}} = 1,4 \text{ m/s}^2$. A força resultante centrípeta é desempenhada pela força gravitacional exercida pela Lua, ou seja, $F_{\text{cp}} = m_{\text{Columbia}} \cdot g_{\text{orb}}$.

Sendo o módulo da velocidade do Columbia $v = 1600 \text{ m/s}$, qual foi aproximadamente o período T da órbita?

- a) $T = 20 \text{ min.}$ c) $T = 3,0 \text{ h.}$
- b) $T = 2,0 \text{ h.}$ d) $T = 4,0 \text{ h.}$

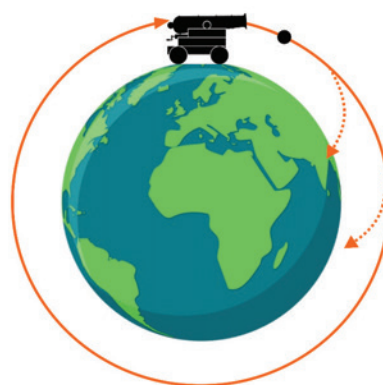
11. (Enem – 2012) A característica que permite identificar um planeta no céu é o seu movimento relativo às estrelas fixas. Se observarmos a posição de um planeta por vários dias, verificaremos que sua posição em relação às estrelas fixas se modifica regularmente. A figura destaca o movimento de Marte observado em intervalos de 10 dias, registrado da Terra.



Qual a causa da forma da trajetória do planeta Marte registrada na figura?

- a) A maior velocidade orbital da Terra faz com que, em certas épocas, ela ultrapasse Marte.
- b) A presença de outras estrelas faz com que sua trajetória seja desviada por meio da atração gravitacional.
- c) A órbita de Marte, em torno do Sol, possui uma forma elíptica mais acentuada que a dos demais planetas.
- d) A atração gravitacional entre a Terra e Marte faz com que este planeta apresente uma órbita irregular em torno do Sol.
- e) A proximidade de Marte com Júpiter, em algumas épocas do ano, faz com que a atração gravitacional de Júpiter interfira em seu movimento.

12. (Fuvest-SP – 2021) O canhão de Newton, esquematizado na figura, é um experimento mental imaginado por Isaac Newton para mostrar que sua lei da gravitação era universal. Disparando o canhão horizontalmente do alto de uma montanha, a bala cairia na Terra em virtude da força da gravidade. Com uma maior velocidade inicial, a bala iria mais longe antes de retornar à Terra. Com a velocidade certa, o projétil daria uma volta completa em torno da Terra, sempre “caindo” sob ação da gravidade, mas nunca alcançando a Terra. Newton concluiu que esse movimento orbital seria da mesma natureza do movimento da Lua em torno da Terra.



Qual deveria ser a velocidade inicial de um projétil lançado horizontalmente do alto do Everest (a uma distância aproximada de 6400 km do centro da Terra) para colocá-lo em órbita em torno da Terra?

Note e adote:

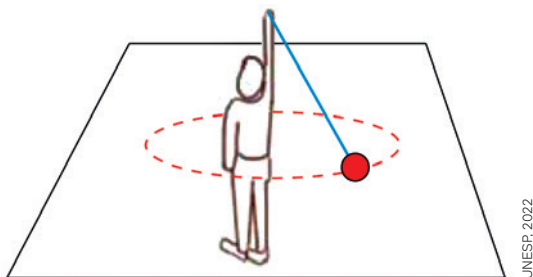
Despreze a resistência do ar.

Aceleração da gravidade: $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- a) 8 km/s. d) 112 km/s.
- b) 11,2 km/s. e) 8000 km/s.
- c) 80 km/s.

13. (Unesp-SP – 2022) Um garoto gira uma esfera de 500 g ao redor de seu corpo, mantendo o braço esticado na vertical e segurando um fio ideal de

comprimento 65 cm, conforme a figura. A esfera gira em uma trajetória circular contida em um plano horizontal de raio de curvatura 60 cm



UNESP, 2022

Adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e desprezando a resistência do ar, a intensidade da força de tração que atua no fio é

- a) 18 N. c) 13 N. e) 8 N.
b) 12 N. d) 15 N.

14. (Enem – 2022) Um pai faz um balanço utilizando dois segmentos paralelos e iguais da mesma corda para fixar uma tábua a uma barra horizontal. Por segurança, opta por um tipo de corda cuja tensão de ruptura seja 25% superior à tensão máxima calculada nas seguintes condições:

- O ângulo máximo atingido pelo balanço em relação a vertical é igual a 90° ;
- Os filhos utilizarão o balanço até que tenham uma massa de 24 kg.

Além disso, ele aproxima o movimento do balanço para o movimento circular uniforme, considerando que a aceleração da gravidade é igual a 10 m/s^2 , desprezando forças dissipativas. Qual é a tensão de ruptura da corda escolhida?

- a) 120 N. c) 360 N. e) 900 N.
b) 300 N. d) 450 N.

15. (Unicamp-SP – 2022) Em 2018, a NASA lançou a sonda Solar Parker com o objetivo de estudar o Sol. Para isso, ao longo de suas órbitas, a sonda se aproximará gradativamente da estrela, coletando dados a cada passagem. Em abril de 2021, a Solar Parker fez sua oitava aproximação, atingindo dois novos recordes de artefatos realizados pelo homem: maior velocidade e máxima aproximação do Sol.

A força gravitacional exercida pelo Sol sobre a sonda Solar Parker tem módulo dado por $F_{\text{Sol}} = G M m / r^2$, sendo $G \simeq 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ a constante gravitacional universal, $M = 2,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ a massa do Sol, m a massa da sonda, e r a distância entre a sonda e o centro do Sol. Sendo $r = 1,0 \cdot 10^7 \text{ km}$ (aproximadamente a distância atingida pela sonda em abril de 2021), qual é o módulo da aceleração gravitacional do Sol na referida posição?

- a) $6,7 \cdot 10^{-29} \text{ m/s}^2$. c) $9,8 \text{ m/s}^2$.
b) $1,34 \text{ m/s}^2$. d) $2,0 \cdot 10^{10} \text{ m/s}^2$.

16. (Unisinos-RS – 2016) A origem da energia solar, no Sol, ocorre a partir:

- a) da combustão de substâncias que contêm carbono.
b) da fissão nuclear do hidrogênio.
c) da fissão nuclear do urânio.
d) da fusão nuclear do hidrogênio.
e) da fusão nuclear do urânio.

17. (FGV – 2020) De acordo com a teoria da relatividade de Einstein, a conversão de massa em energia é regida pela expressão $E = m \cdot c^2$, sendo c a velocidade da luz no vácuo, que é igual a $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. No interior do Sol, ocorrem fusões nas quais quatro átomos de hidrogênio se unem para formar um átomo de hélio. A massa dos quatro átomos de hidrogênio é ligeiramente maior que a de um átomo de hélio, e essa diferença, que é de aproximadamente $5,0 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$, é convertida em energia.

Sabe-se que a energia produzida no interior do Sol, a cada segundo, é cerca de $3,6 \cdot 10^{28} \text{ J}$. portanto, a quantidade de prótons que se fundem no interior do Sol, a cada segundo, é

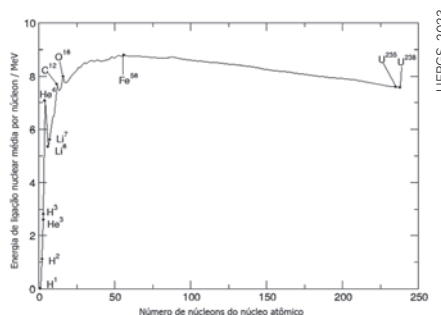
- a) $1,6 \cdot 10^{20}$. c) $3,2 \cdot 10^{40}$. e) $2,2 \cdot 10^{65}$.
b) $4,8 \cdot 10^{32}$. d) $7,2 \cdot 10^{56}$.

18. (FCMSC-SP – 2022) A geração de energia no interior do Sol se dá por meio de fusões nucleares. O processo consiste basicamente na fusão de 4 núcleos de hidrogênio para formar 1 núcleo de hélio, sendo que a massa do núcleo produzido é menor que a soma das massas dos núcleos iniciais. Essa diminuta diferença de massa, $4,7 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$, é convertida em energia de acordo com a expressão proposta por Einstein: $E = m \cdot c^2$, sendo E a energia gerada, m a diferença de massa e c a velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$).

Sabendo-se que o Sol produz energia na razão de $3,9 \cdot 10^{26} \text{ J/s}$ e considerando que toda energia seja gerada pelo processo de fusão de núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio, a ordem de grandeza do número dessas fusões que ocorrem no interior do Sol a cada segundo é

- a) 10^{45} c) 10^{18} e) 10^{24}
b) 10^{32} d) 10^{38}

19. (UFRGS-RS – 2023) O gráfico abaixo indica o valor da energia de ligação média por núcleon versus o número de núcleons (número de massa), para núcleos atômicos. Por núcleon, entende-se um componente do núcleo atômico, próton ou nêutron. A energia (nas ordenadas) é informada em MeV (10^6 elétron-volts).



UFRGS, 2023

Observando o gráfico, pode-se chegar a conclusões sobre reações nucleares que liberam grande quantidade de energia potencialmente aproveitável, as chamadas fissão e fusão nucleares.

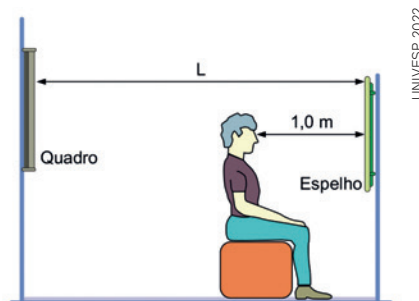
Assinale a alternativa que apresenta uma afirmação correta a respeito dessas reações.

- a) A fusão nuclear ocorre pela união de determinados núcleos localizados no final da curva (à direita).
 - b) A fissão nuclear ocorre pela quebra de determinados núcleos localizados no início da curva (à esquerda).
 - c) A fusão nuclear ocorre pela quebra de determinados núcleos localizados no final da curva (à direita).
 - d) A fissão nuclear ocorre pela união de determinados núcleos localizados no início da curva (à esquerda).
 - e) A fusão nuclear ocorre pela união de determinados núcleos localizados no início da curva (à esquerda).
- 20.** (Enem – 2022) “Um Buraco Negro é um corpo celeste que possui uma grande quantidade de matéria, de modo que sua força gravitacional é tão grande que qualquer partícula fica aprisionada em sua superfície, inclusive a luz. O raio dessa região caracteriza uma superfície-limite, chamada de horizonte de eventos, da qual nada consegue escapar. Considere que o Sol foi instantaneamente substituído por um Buraco Negro com a mesma massa solar, de modo que o seu horizonte de eventos seja de aproximadamente 3,0 km.” (SCHWARZSCHILD, K. On the Gravitational Field of a Mass Point According to Einstein’s Theory. Disponível em: arxiv.org. Acesso em: 26 maio 2022 (adaptado)). Após a substituição descrita, o que aconteceria aos planetas do Sistema Solar?
- a) Eles se moveriam em órbitas espirais, aproximando-se sucessivamente do Buraco Negro.
 - b) Eles manteriam suas órbitas inalteradas.
 - c) Eles oscilariam aleatoriamente em torno de suas órbitas elípticas originais.
 - d) Eles se moveriam em direção ao centro do Buraco Negro.
 - e) Eles passariam a precessionar mais rapidamente.
- 21.** (UFRGS – 2016) Assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna do parágrafo abaixo. O Sol é a grande fonte de energia para toda a vida na Terra. Durante muito tempo, a origem da energia irradiada pelo Sol foi um mistério para a humanidade. Hoje, as modernas teorias de evolução das estrelas nos dizem que a energia irradiada pelo Sol provém de processos de que ocorrem no seu interior, envolvendo núcleos de elementos leves.
- a) espalhamento
 - b) fusão nuclear
 - c) fissão nuclear

- d) fotossíntese
- e) combustão

- 22.** (Enem PPL – 2019) Astrônomos medem a velocidade de afastamento de galáxias distantes pela detecção da luz emitida por esses sistemas. A lei de Hubble afirma que a velocidade de afastamento de uma galáxia (em km/s) é proporcional à sua distância até a Terra, medida em megaparsec. Nessa lei, a constante de proporcionalidade é a constante de Hubble (H_0) e seu valor mais aceito é de 72 (km/s)/Mpc. O parsec (pc) é uma unidade astronômica de distância, que vale, aproximadamente, $3 \cdot 10^{16}$ m. Observações astronômicas determinaram que a velocidade de afastamento de uma determinada galáxia é de 1440 km/s. Utilizando a lei de Hubble, pode-se concluir que a distância até essa galáxia, medida em km, é igual a:
- a) $20 \cdot 10^0$
 - b) $20 \cdot 10^6$
 - c) $6 \cdot 10^{20}$
 - d) $6 \cdot 10^{23}$
 - e) $6 \cdot 10^{26}$

- 23.** (Univesp – 2022) Uma pessoa observa um quadro, localizado em uma parede às suas costas, por meio de um espelho plano colocado na parede à sua frente, como mostrado na figura.



Despreze as espessuras do quadro e do espelho. Sabendo que a distância entre os olhos dessa pessoa e o espelho é de 1,0 m e que a distância entre os olhos da pessoa e a imagem do quadro, conjugada pelo espelho, é de 4,0 m, a distância L entre essas duas paredes é de

- a) 3,0 m.
 - b) 3,5 m.
 - c) 4,0 m.
 - d) 4,5 m.
 - e) 5,0 m.
- 24.** (OBF – 2018) “A questão que minha mente formulou foi respondida pelo radiante céu do Brasil”. Com essa afirmação, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) apresentava ao mundo a comprovação da sua Teoria da Relatividade Geral, a partir dos resultados fotográficos realizados pela Royal Astronomical Society de Londres, durante o eclipse total

do Sol em 29 de maio de 1919, na cidade de Sobral, Ceará. Num eclipse como esse:

- a) um observador fora da região de sombra, mas dentro da região de penumbra, verá a Lua entrar por completo na frente do Sol.
- b) um observador na Terra, dentro do cone de sombra da Lua, verá a Lua cobrir parcialmente o Sol.
- c) a fase da Lua deverá ser sempre cheia.
- d) um observador na Terra, dentro do cone de sombra da Lua, verá a Lua entrar por completo na frente do Sol.
- e) a fase da Lua deverá ser sempre minguante.

25. (Enem – 2010) Os espelhos retrovisores, que deveriam auxiliar os motoristas na hora de estacionar ou mudar de pista, muitas vezes causam problemas. É que o espelho retrovisor do lado direito, em alguns modelos, distorce a imagem, dando a impressão de que o veículo está a uma distância maior do que a real. Este tipo de espelho, chamado de convexo, é tulizado com objetivo de ampliar o campo visual do motorista, já que no Brasil se adota a direção do lado esquerdo e, assim, o espelho da direita fica muito distante dos olhos do condutor.

Sabe-se que, em um espelho convexo, a imagem formada está mais próxima do espelho do que este está do objeto, o que parece entrar em conflito com a informação apresentada na reportagem. Essa aparente contradição é explicada pelo fato de

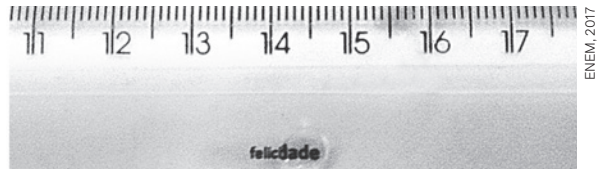
- a) a imagem projetada na retina do motorista ser menor do que o objeto.
- b) a velocidade do automóvel afetar a percepção da distância.
- c) o cérebro humano interpretar como distante uma imagem pequena.
- d) o espelho convexo ser capaz de aumentar o campo visual do motorista.
- e) o motorista perceber a luz vinda do espelho com a parte lateral do olho.

26. (UEL-PR – 2023) Durante a crise da Covid-19, muitas famílias se encontraram com dificuldade orçamentária. A família de Darci foi uma dessas. Ele está reformando um dos quartos e gostaria de instalar um espelho plano em uma parede perpendicular ao chão com a possibilidade de conseguir observar todo seu corpo ereto (da cabeça aos pés).

Supondo que Darci tem 165 cm de altura e a sua distância horizontal em relação ao espelho é de 40 cm, assinale a alternativa que apresenta, corretamente, a menor altura do espelho plano que deverá ser instalado.

- a) 80,0 cm
- b) 82,5 cm
- c) 85,0 cm
- d) 87,5 cm
- e) 90,0 cm

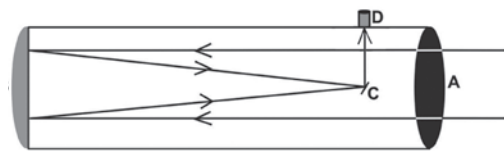
27. (Enem – Libras – 2017) Um experimento bastante interessante no ensino de ciências da natureza consiste em escrever palavras em tamanho bem pequeno, quase ilegível a olho nu, em um pedaço de papel e cobri-lo com uma régua de material transparente. Em seguida, pinga-se uma gota d'água sobre a régua na região da palavra, conforme mostrado na figura, que apresenta o resultado do experimento. A gota adquire o formato de uma lente e permite ler a palavra de modo mais fácil em razão do efeito de ampliação.



Qual é o tipo de lente formada pela gota-d'água no experimento descrito?

- a) Biconvexa.
- b) Bicôncava.
- c) Plano-convexa.
- d) Plano-côncava.
- e) Convexa-côncava.

28. (Enem-PPL – 2011) A figura seguinte representa, esquematicamente, um telescópio refletor:



A luz emitida por um astro penetra no telescópio pelo orifício na posição A, reflete no espelho parabólico localizado na posição B, é novamente refletida pelo espelho C em direção às lentes localizadas na ocular do telescópio (local onde o observador aproxima o olho) na posição D. Essa lente forma uma imagem real e maior do objeto observado, um pouco à frente de D. Por isso, o observador não deve encostar seus olhos na lente para enxergar essa imagem.

Considerando uma situação em que apenas uma lente é colocada na posição D, qual o tipo de espelho utilizado e qual o tipo de lente utilizada nas posições B e D respectivamente?

- a) Convexo e bifocal.
- b) Convexo e divergente.
- c) Côncavo e convergente.
- d) Côncavo e divergente.
- e) Plano e convergente.

29. (UEA-AM – 2018) Ao parar na entrada de um supermercado, uma criança vê um espelho esférico a 6 m

de si, preso em uma parede. Olhando para esse espelho, vê sua própria imagem direita e menor do que ela própria. Considerando que a altura da criança seja onze vezes a altura da imagem que ela vê de si mesma, é correto afirmar que o espelho visto pela criança é

- a) convexo e sua distância focal é $-0,3$ m.
- b) côncavo e sua distância focal é $1,2$ m.
- c) côncavo e sua distância focal é $0,6$ m.
- d) convexo e sua distância focal é $-1,2$ m.
- e) convexo e sua distância focal é $-0,6$ m.

30. (PUC – 2016) Determine o raio de curvatura, em cm, de um espelho esférico que obedece às condições de nitidez de Gauss e que conjuga de um determinado objeto uma imagem invertida, de tamanho igual a $1/3$ do tamanho do objeto e situada sobre o eixo principal desse espelho. Sabe-se que a distância entre a imagem e o objeto é de 80 cm.

- a) 15 .
- b) 30 .
- c) 60 .
- d) 90 .

31. (Enem – 2012) Alguns povos indígenas ainda preservam suas tradições realizando a pesca com lanças, demonstrando uma notável habilidade. Para fisgar um peixe em um lago com águas tranquilas o índio deve mirar abaixo da posição em que enxerga o peixe.

Ele deve proceder dessa forma porque os raios de luz

- a) refletidos pelo peixe não descrevem uma trajetória retilínea no interior da água.
- b) emitidos pelos olhos do índio desviam sua trajetória quando passam do ar para a água.
- c) espalhados pelo peixe são refletidos pela superfície da água.
- d) emitidos pelos olhos do índio são espalhados pela superfície da água.
- e) refletidos pelo peixe desviam sua trajetória quando passam da água para o ar.

32. (Ufam – 2021) Uma estudante deseja examinar uma folha de cupuaçuzeiro com o auxílio de uma lupa de distância focal igual a 5 cm. Para que possa ver detalhes da estrutura da folha, ampliada em cinco vezes, a lupa deve formar uma imagem I, com a distância entre a folha e o centro da lupa igual a II.

Assinale a alternativa que completa, CORRETAMENTE, as lacunas:

- a) I: virtual; II: 4 cm
- b) I: real; II: 4 cm
- c) I: virtual; II: 2 cm
- d) I: real; II: 2 cm
- e) I: virtual; II: $2,5$ cm

33. (Enem-PPL – 2017) A aquisição de um telescópio deve levar em consideração diversos fatores, entre os quais estão o aumento angular, a resolução ou poder de separação e a magnitude limite. O aumento angular informa quantas vezes mais próximo de nós percebemos o objeto observado e é calculado como sendo a razão entre as distâncias focais da objetiva (F_1) e da ocular (F_2). A resolução do telescópio (P) informa o menor ângulo que deve existir entre dois pontos observados para que seja possível distingui-los. A magnitude limite (M) indica o menor brilho que um telescópio pode captar. Os valores numéricos de P e M são calculados pelas expressões: $P = \frac{12}{D}$ e $M = 7,1 + 5 \log(D)$, em que D é o valor numérico do diâmetro da objetiva do telescópio, expresso em centímetro. Disponível em: www.telescopiosastronomicos.com.br. Acesso em: 13 maio 2013 (adaptado).

Ao realizar a observação de um planeta distante e de baixa luminosidade, não se obteve uma imagem nítida. Para melhorar a qualidade dessa observação, os valores de D , F_1 e F_2 devem ser, respectivamente,

- a) aumentado, aumentado e diminuído.
- b) aumentado, diminuído e aumentado.
- c) aumentado, diminuído e diminuído.
- d) diminuído, aumentado e aumentado.
- e) diminuído, aumentado e diminuído.

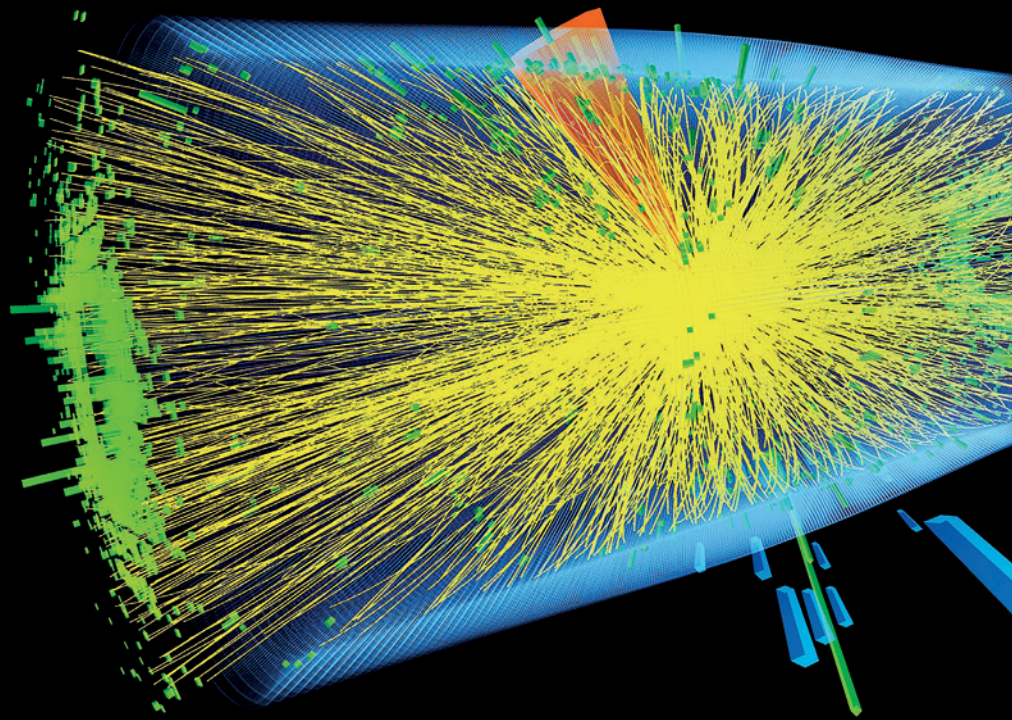
A

Microscópio eletrônico (A) e imagens computacionais da colisão de partículas (B).

Pvnce73/Shutterstock.com

**B**

CERN, Thomas McCauley/SCIENCE PHOTO LIBRARY/Fotoarena



Consulte no Manual do Professor as orientações, respostas e comentários referentes às atividades e aos conteúdos desta unidade e seus capítulos.

Física Moderna

Nesta unidade estudaremos tópicos relacionados com a Física Moderna e o impacto que as pesquisas nessa área exercem para a Ciência e a sociedade. No primeiro capítulo, será realizada uma discussão sobre a natureza da luz. O debate para a compreensão do que é a luz teve diferentes visões ao longo da história e é capaz de retratar não só a evolução na definição de um conceito, mas principalmente o progresso do pensamento científico. A partir dessa discussão começaremos a perceber as curiosidades que o estudo sobre o mundo microscópico é capaz de trazer à tona. No segundo capítulo da unidade estudaremos o efeito fotoelétrico, cuja caracterização garantiu a Albert Einstein o recebimento do Prêmio Nobel, e aplicações desse fenômeno em diversas tecnologias que utilizamos cotidianamente. No terceiro capítulo discutiremos a relação entre a pesquisa básica e a pesquisa aplicada, destacando a importância de cada uma delas, mas enfatizando, neste momento, alguns resultados da pesquisa aplicada, como os microscópios eletrônicos e as telas sensíveis ao toque. Já no último capítulo, voltaremos a análise aos aspectos da pesquisa básica ao estudar características da Física de Partículas.

▼ Para começar

1. O que é a Física Quântica?
2. Quais aspectos diferem a Física Quântica da Física Clássica?
3. Quando você pensa em Física Quântica, quais assuntos, leis ou equações veem à sua mente?

Fenda dupla e o Princípio da Incerteza



Benjamin Coupric/Instituto Internacional de Física, Solvay, Bruxelas

Foto da 5ª Conferência de Solvay, 1927. Estão presentes personalidades fundamentais para o desenvolvimento da Física Moderna, entre eles: Marie Curie, Albert Einstein, Max Planck, Paul Dirac, Erwin Schrödinger, Louis de Broglie, Wolfgang Pauli e Werner Heisenberg.

▼ Para refletir

1. Quais fenômenos a Física Quântica visa explicar?
2. Qual o papel dos modelos explicativos para a Física e como eles ajudam a entender os fenômenos observados?
3. Qual é a natureza da matéria? Qual é a natureza da luz?

Objetivos do capítulo

- Discutir sobre a natureza da matéria, compreendendo seu caráter dual.
- Discutir sobre a natureza da luz, compreendendo seu caráter dual.
- Comparar modelos explicativos utilizados na escala microscópica com a macroscópica.
- Compreender a relevância do Princípio da Incerteza e o impacto para a Física Moderna

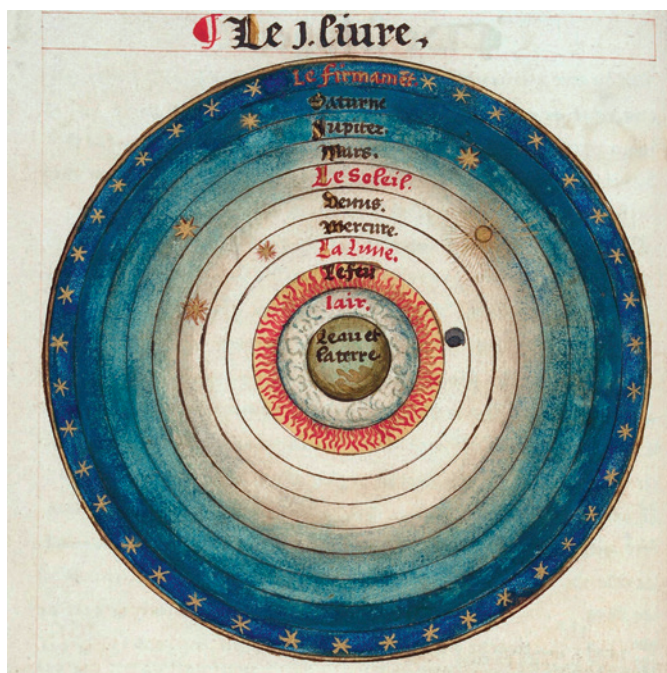
Natureza da matéria

Talvez você tenha reparado que ao explicarmos diferentes fenômenos que envolvem a luz, ora utilizamos como modelo que a luz se comporta como uma partícula, ora utilizamos a interpretação de ondas, como no caso das ondas eletromagnéticas. Neste capítulo, estudaremos por que construímos diferentes modelos explicativos para a luz e como eles estão interligados.

A busca pela compreensão da natureza da matéria é um anseio historicamente observável. Já na Antiguidade Clássica muitos filósofos discutiam sobre esse assunto propondo diferentes maneiras de descrever a composição da matéria. Uma das proposições filosóficas mais proeminentes da época relacionada com a Filosofia Aristotélica para a composição da matéria era a ideia de que as coisas eram feitas de cinco elementos: fogo, terra, ar, água e éter. É interessante que havia uma distinção entre os elementos que compunham o mundo sublunar, ou seja, da Terra até a Lua, e o mundo supralunar (da Lua para o restante do universo).

A proposição filosófica era a de que a Terra era o centro do universo e que sua composição se diferenciava do mundo supralunar. Nessa concepção, o mundo sublunar tinha a característica de ser imperfeito e mutável, portanto, as interações observadas se relacionavam com os quatro elementos (fogo, terra, ar e água). Por outro lado, o mundo supralunar era visto como o local das coisas perfeitas e imutáveis, composto inteiramente por um outro elemento: o éter.

Essa ideia filosófica sobre a constituição da matéria se origina de outras discussões anteriores, como a própria ideia de átomo proposta por Leucipo (século V a.C.) e Demócrito (460 a.C.-370 a.C.). A ideia deles era a de que a matéria era composta por partes indivisíveis. Dessa proposição herdamos o nome que utilizamos para o que imaginávamos ser a menor parte da matéria: o átomo. Ao longo da história podemos citar a evolução de diferentes modelos atômicos com características distintas que contrapõem inclusive a noção de que o átomo seria a menor parte da matéria, pois temos a introdução de novas partículas como o elétron, o próton e os nêutrons. Trazendo as contribuições da Física Moderna, temos a proposta do modelo atômico quântico de Schrödinger, cuja descrição revela uma mudança significativa não só na descrição do átomo, mas também nas características do conhecimento científico.

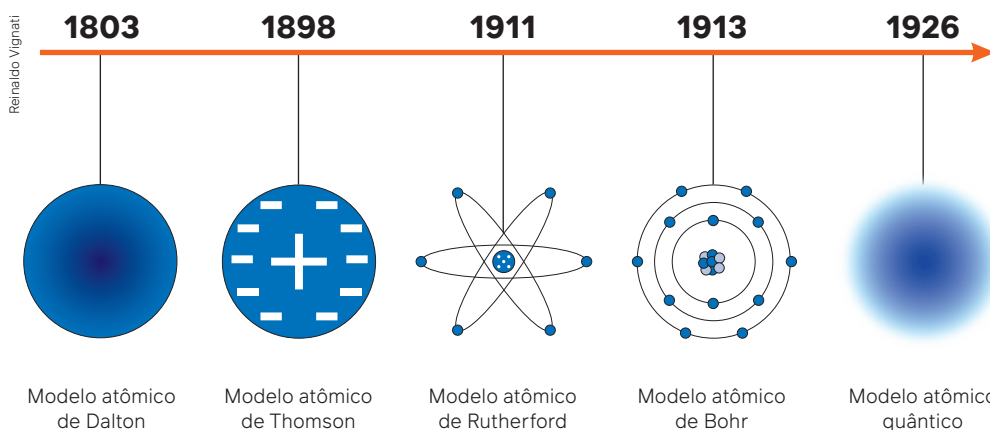


Modelo geocêntrico onde se pode observar os elementos, de dentro para fora: água e terra, ar, fogo, Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter, Saturno e o firmamento.

Houghton Library, Harvard University, Cambridge

► Ciências da Natureza

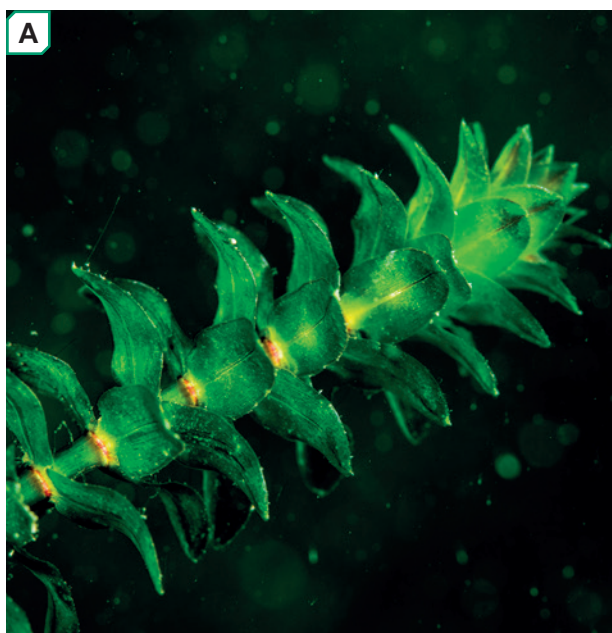
O estudo sobre modelos atômicos pode ser aprofundado no **Capítulo 1** do **volume de Química**.



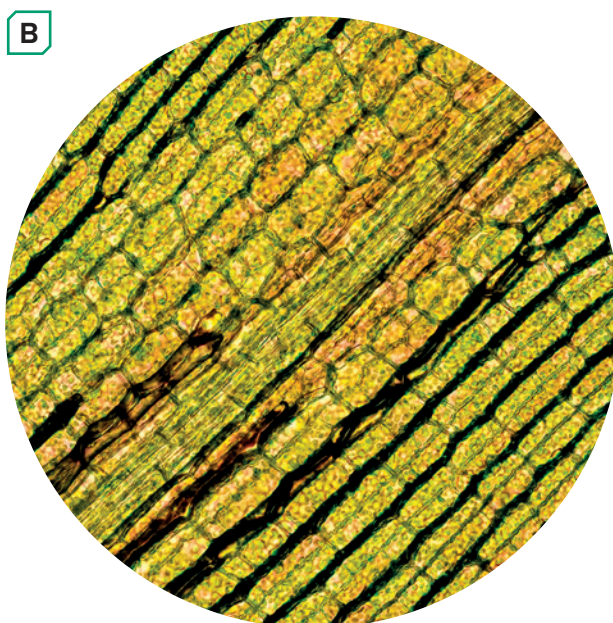
Linha do tempo com a evolução dos modelos atômicos.

Uma das principais características da Física Quântica é a quebra de diversas concepções de como explicar o mundo natural a partir da Física Clássica. Para compreendermos parte dessa discussão, vamos refletir sobre a natureza da matéria. A partir da experiência com o mundo ao nosso redor podemos apreender, com o uso dos sentidos, diferentes características dos objetos. Por exemplo, através da visão podemos ter noção de tamanho e coloração, com o tato sabemos a textura dos materiais, podemos até diferenciar um objeto de metal de outro de madeira pelo olfato. Todas essas características que experienciamos têm relação com a estrutura da matéria que compõem os objetos que utilizamos. O que define essas características? Ora, podemos dizer que são todas provenientes da estrutura interna da matéria e dos átomos que a compõem. No entanto, quando refletimos de maneira mais aprofundada sobre essa pergunta, algumas limitações começam a aparecer. Até que medida o uso dos sentidos ou instrumentos que construímos auxiliam a experimentar a estrutura da matéria?

Vamos tomar como exemplo o caso de uma planta. A partir do uso dos sentidos conseguimos descrever o tamanho, a cor, a textura e até mesmo buscar caracterizar o cheiro dela. No entanto, a partir dos conhecimentos biológicos, sabemos que as folhas dela são compostas por um conjunto de células. Apesar de não conseguirmos visualizar e, por consequência descrever, essas estruturas apenas a olho nu, podemos, com o auxílio de um microscópio, analisar suas características. No entanto, note que com essa alteração de escala perdemos a possibilidade de descrever outras propriedades que antes conseguíamos: agora não é mais possível sentir a textura da célula, embora seja possível buscar descrevê-la com a observação visual do microscópio. Além disso, também não podemos caracterizar seu cheiro, o que antes éramos capazes de fazer com a folha como um todo.



Rt.S Photo/Shutterstock.com



Joan Carles Juarez/Shutterstock.com

Na imagem (A) temos a folhagem de uma *Elodea* (planta de aquário) e em (B), as células dessa folha vistas pelo microscópio.

Note que aqui já começamos a nos contrapor com concepções da constituição da matéria que relacionamos com a Antiguidade Clássica: não podemos dizer que no mundo microscópico, a matéria guarda as mesmas propriedades macroscópicas que observamos e experienciamos com os sentidos. Não podemos dizer que o universo microscópico funciona exatamente como o mundo macro, mas em uma escala diferente.

Voltando ao exemplo da planta, se diminuimos nossa escala novamente, começamos a ver que algumas perguntas já não fazem mais sentido. Por exemplo, não conseguiríamos, nem com os aparelhos modernos, ver os átomos que constituem a planta, assim como conseguimos fazer com a célula. Além disso, não poderíamos dizer que um átomo da planta possui o cheiro ou a textura que ela tem no mundo macroscópico.

Veja que, conforme nos aproximamos do mundo microscópico alguns estranhamentos vão surgindo, principalmente quando estamos na escala atômica.

É estranho pensar como os átomos que compõem os objetos que observamos e até nós mesmos não possuem as mesmas propriedades sensíveis que somos capazes de tangenciar com nossos sentidos. Quando entramos no mundo da Física Quântica essas estranhezas ficam mais evidentes, pois além de não sermos capazes de utilizar nossos sentidos, intuição ou experiência cotidiana para descrever os fenômenos observados, ainda temos a quebra com a maneira clássica de se descrever a realidade.

Natureza da luz

Uma discussão relacionada com a estrutura da matéria é sobre o entendimento da natureza da luz, cujo debate gerou diversas controvérsias ao longo da história e culminou em um dos modelos científicos mais intrigantes para a descrição de um fenômeno natural. Esse debate já começou na Grécia Antiga, quando alguns filósofos buscaram explicar como nós somos capazes de enxergar o mundo que nos cerca. É interessante ressaltar que, diferentemente da ideia de átomo, o objetivo não era explicar do que a luz era feita, mas sim compreender aspectos fisiológicos relacionados com ela, como o funcionamento da visão e os mecanismos por trás da cegueira. Uma parte dos filósofos acreditava que o olho humano era capaz de emitir um feixe de luz que, ao incidir sobre os objetos, permitia que nós os víssemos. No entanto, essa proposição por não ser capaz de explicar outras questões como “por que não vemos no escuro?” foi confrontada com outra explicação: a de que os objetos emitiam a luz e os olhos a captavam.

Já na Idade Moderna, René Descartes (1596-1650) propôs que a luz poderia ser interpretada como uma sequência de pressão que se propaga pelo espaço através do éter. Na época, como não se admitia a ideia de vazio (ou vácuo), o éter era o elemento leve e rarefeito que permeava todos os espaços vazios. Portanto, a interpretação de Descartes para a luz era semelhante à interpretação atual para o som. Na mesma direção de Descartes estavam as ideias de Christiaan Huygens (1629-1695), as quais compuseram o primeiro grande embate sobre a natureza da luz com as proposições de Isaac Newton (1643-1727).

Huygens defendia o comportamento vibratório da luz, que associamos ao comportamento ondulatório. Já Newton propunha o comportamento corpuscular. Embora os comportamentos das partículas e das ondas sejam descritos de maneira consideravelmente diferente nas explicações de outros fenômenos, vamos entender, a partir de dois exemplos, como no caso da luz essas interpretações de fato fazem sentido, mesmo que soem contraditórias a uma primeira análise.

Se a luz pode ser considerada uma onda, por que ela não apresenta comportamento semelhante ao do som? Por exemplo, você já deve ter visto em filmes ou até mesmo na realidade cenas de pessoas ouvindo a conversa de outras pelas portas, ou paredes. Nessas situações nem a pessoa que está falando nem a que está ouvindo conseguem ver umas às outras, mas podem se ouvir. Ora, se a luz tivesse o mesmo comportamento ondulatório que o som, não seria de se esperar que pudéssemos tanto enxergar como ouvir as pessoas nesses casos?

Agora, se a luz se comporta como uma partícula, por que os raios de luz, quando se cruzam, não interferem uns nos outros como ocorre na colisão de outros corpos que tratamos como partículas? Por que a luz que chega aos olhos a partir de diferentes objetos não se mistura? Como podemos enxergar diferentes objetos de maneira nítida sem que ocorra interferência?



Uma pessoa consegue escutar o som através de paredes, mas não pode ver o que acontece do outro lado.



Os raios de luz, embora estejam sobrepostos, não interferem nas trajetórias uns dos outros.

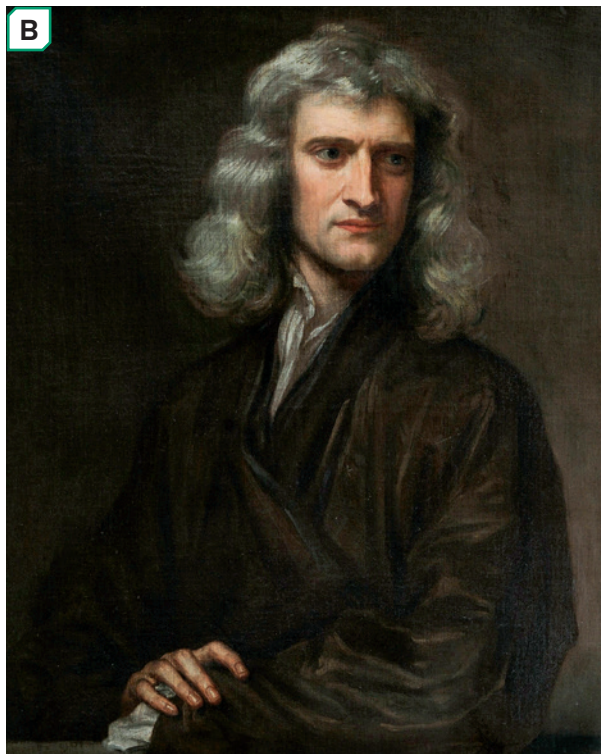
Veja que apenas com esses dois simples exemplos chegamos em observações contraditórias, que nos permitem afirmar que o debate acerca da natureza da luz envolve diferentes fatores importantes.

Concepções de Huygens e de Newton para a luz

Um dos primeiros grandes embates de ideias sobre a discussão da natureza da luz tem como representantes os físicos Christiaan Huygens e Isaac Newton. É importante ressaltar que ambos tiveram outras personalidades defendendo suas concepções, mas utilizaremos esses representantes como os mais proeminentes defensores das ideias destacadas. Vamos contrapor as ideias de Huygens e Newton considerando os seguintes fatores: (I) necessidade de um meio de propagação, (II) reflexão da luz e (III) refração da luz.



Museu Histórico de Haags, Haia, Holanda



Instituto Isaac Newton, Universidade de Cambridge, Reino Unido

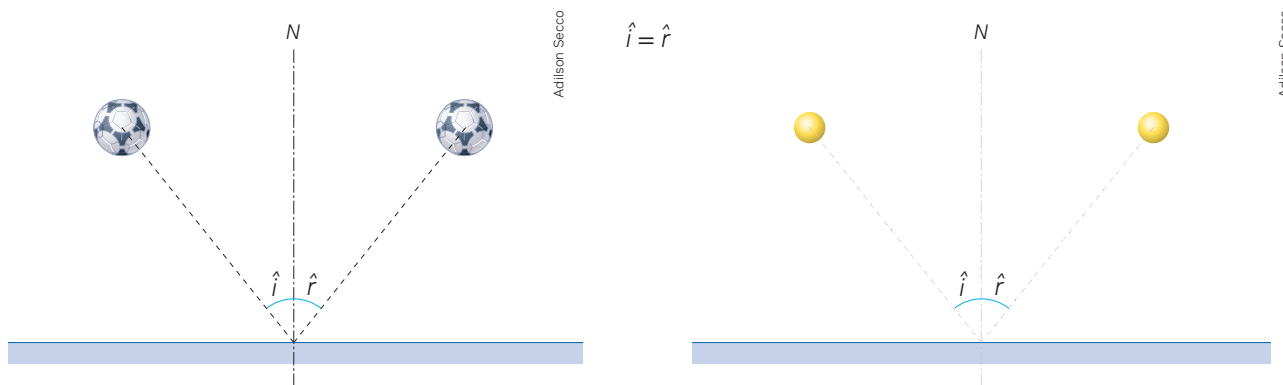
Huygens, na imagem (A), defensor da ideia de que a luz era uma onda, e Newton, na imagem (B), defendia que a luz era corpuscular.

Necessidade de um meio de propagação

Para Huygens a luz possuía um caráter vibratório como o som, ou seja, acreditava que um meio material era perturbado de tal forma que a luz era capaz de se propagar de maneira ondulatória. Esse material por onde a luz se propagaria era o éter. Assim, para a concepção de Huygens era necessário supor que o espaço era composto inteiramente pelo éter para que fosse possível descrever como a luz do Sol é capaz de atingir a Terra. No entanto, não havia evidências que pudessem de fato comprovar a existência do éter. Portanto, a necessidade de um meio material para propagação era um ponto frágil na teoria ondulatória. Em contrapartida, para o padrão corpuscular proposto por Newton, não era necessário supor a existência do éter, pois sendo uma partícula, a luz poderia se propagar livremente, havendo um meio material ou não. Nesse aspecto, a teoria corpuscular de Newton tinha vantagem em relação às ideias de Huygens.

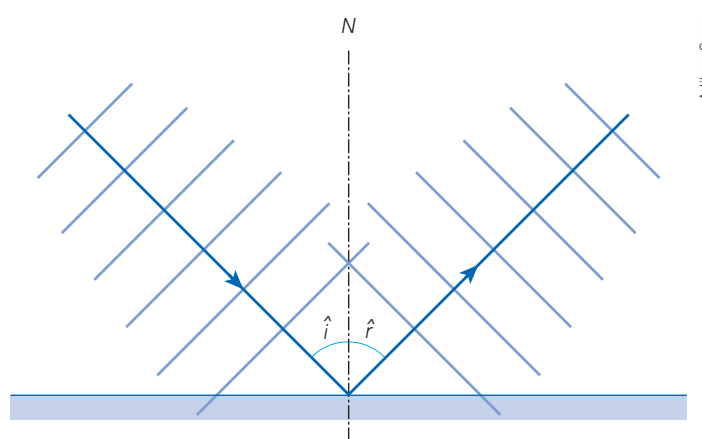
Reflexão da luz

Uma outra vantagem do trabalho de Newton era o fato de que poderia aproveitar as leis da mecânica para descrever parte do comportamento da luz, uma vez que ela poderia ser tratada como uma partícula. Um exemplo de como esse aspecto se torna uma facilidade era a capacidade de explicar a reflexão da luz. Para Newton, bastava considerar que a luz se comportava como uma bola ao ser atirada em uma parede. Fazendo o uso das leis da mecânica clássica, podemos facilmente descrever qual será o comportamento de uma partícula quando atinge uma superfície com um determinado ângulo de inclinação. Assim, a reflexão da luz poderia ser explicada de maneira análoga às colisões elásticas.



Analogia mecânica para a explicação da reflexão da luz para Newton.

Na teoria ondulatória de Huygens também era possível explicar o fenômeno da reflexão considerando a explicação já existente para a reflexão de uma frente de ondas como no caso do som ou da água.



Representação esquemática da reflexão de uma onda.

Dessa maneira, para a explicação sobre a reflexão da luz, podemos dizer que tanto a hipótese ondulatória como a corpuscular possuíam explicações coerentes para tal fenômeno. Portanto, o embate de ideias deveria ter foco em outros aspectos que pudessem mostrar a superação de uma teoria em relação a outra, já que não se admitia que as duas teorias poderiam ser igualmente válidas.

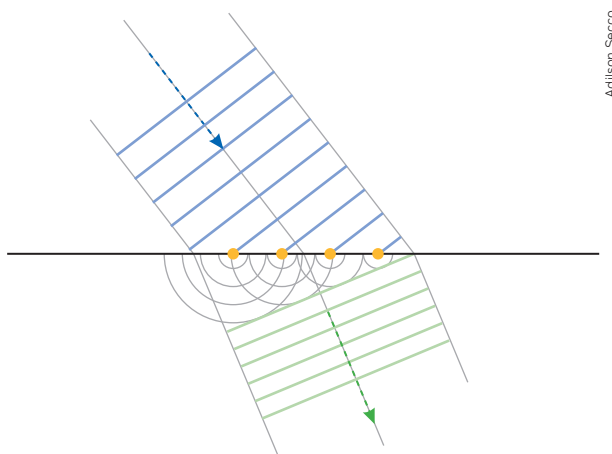
Refração da luz

Na época, já eram conhecidas as características da refração a partir da descrição de Willebrord Snel van Royen (1580-1626) e Descartes. Portanto, Newton e Huygens deveriam ser capazes de propor explicações que fossem consistentes com as proposições de Snell e Descartes.

Nas ideias de Newton, novamente havia uma analogia entre as leis da mecânica e o comportamento de refração da luz. Para ele, poderíamos explicar o desvio da luz ao mudar de meio material a partir de um balanço de forças atrativas diferenciado quando o meio era alterado, de tal maneira que a resultante das forças indicaria a mudança da trajetória da luz como uma partícula.

Para explicar a refração da luz, Huygens considerava que cada ponto de uma frente de ondas é capaz de manifestar o mesmo comportamento vibratório da frente de onda na totalidade, funcionando assim como uma nova fonte geradora dessa onda original, o que permite que a frente de onda se propague pelo espaço. Esse princípio do comportamento das ondas era fundamental para a explicação da refração. Considere a representação geométrica da próxima imagem para a composição da explicação.

Cada frente de onda inicial, representada em azul, ao passar de um meio para outro, fazia com que a frente de onda tangente à superfície de transição se comportasse como uma nova fonte geradora da onda original (representado na imagem com os pontos amarelos). A soma da influência de cada um desses pontos gerava o perfil da nova frente de onda no segundo meio (representado na imagem em verde).



Adilson Secco

Representação esquemática da refração da luz segundo Huygens.

Nesse aspecto comparativo é interessante ressaltar que, como conclusão, para Newton a velocidade da luz na água deveria ser maior do que no ar, ao passo que para Huygens a velocidade na água deveria ser menor. Assim, se soubéssemos o valor da velocidade de propagação da luz nesses meios ou se tivéssemos uma forma de compará-los, poderíamos ter mais uma evidência de qual teoria estaria mais próxima de estar correta.

Vamos fazer um balanço das ideias que discutimos. Analisando os três parâmetros estudados, vimos que ambos os modelos propostos eram capazes de explicar a reflexão e a refração da luz. No entanto, o modelo de Huygens tinha a fragilidade de necessitar do éter como o meio material para que a luz pudesse se propagar, o que deixava sua teoria dependente da prova da existência do éter. Para o modelo de Newton, o meio material de propagação não era necessário para a explicação.

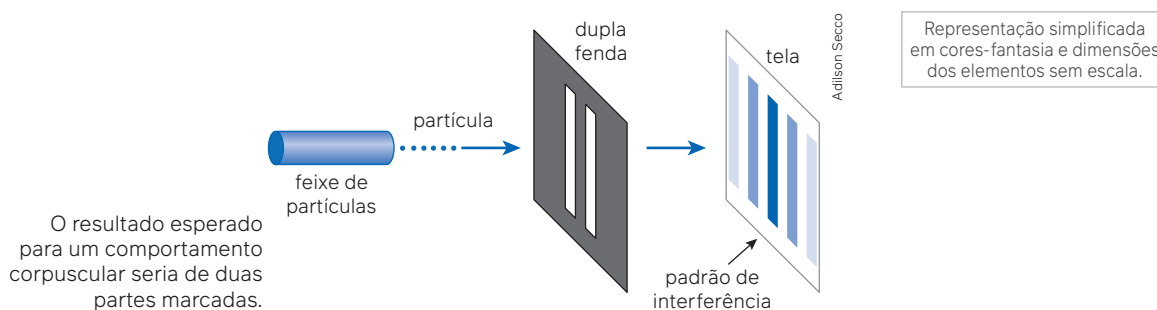
Apesar de não termos até esse ponto uma conclusão sobre qual teoria seria a mais correta, as proposições de Newton foram as mais aceitas. Além de ter menos pontos a serem questionados quando comparado com o modelo de Huygens, Newton também era um pesquisador de ampla influência em sua época, o que dava credibilidade às ideias que propunha. Um outro fator que Newton utilizava para contrapor a hipótese ondulatória de Huygens era a propagação retilínea da luz. Newton afirmava que era contraditório pressupor um comportamento ondulatório, cuja propagação pode ocorrer de maneira espacial, para a luz que se propagava em linha reta.

O experimento da dupla fenda de Young

Embora houvesse um grande embate de ideias entre Huygens e Newton e outros cientistas que adotaram concepções de cada uma das partes, até então não havia um experimento que realmente fosse capaz de refutar um dos dois lados. Como na época não se admitia que ambas as concepções poderiam estar corretas, buscavam-se evidências teóricas e experimentais que fossem capazes de indicar qual das ideias de fato descrevia a natureza da luz. Foi a partir dos estudos sobre o fenômeno da interferência da luz que tivemos um avanço em relação à tentativa de refutar um dos lados.

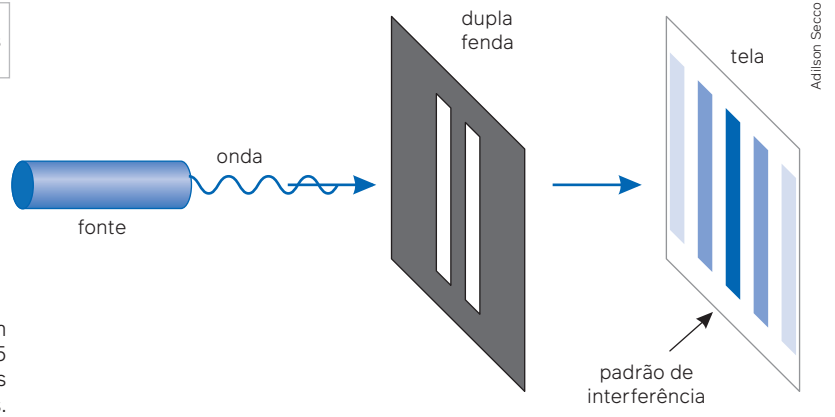
Em 1801, Thomas Young (1773-1829) propôs um experimento que retomou o debate sobre a possibilidade da natureza ondulatória da luz, conhecido como experimento da dupla fenda, que estudamos no Capítulo 19. O experimento estava pautado na explicação sobre os fenômenos de difração e interferência que ainda não eram explicados e, portanto, não compuseram o debate sobre a natureza da luz até então, mas cuja conclusão poderia fornecer uma evidência muito forte do comportamento da luz.

A proposta de Young era que seria possível identificar o caráter ondulatório ou corpuscular da luz neste experimento, pois, (I) se a luz tivesse comportamento corpuscular, então deveríamos observar duas regiões iluminadas no anteparo e (II) já se fosse uma onda, deveríamos observar um padrão de interferência com várias franjas.



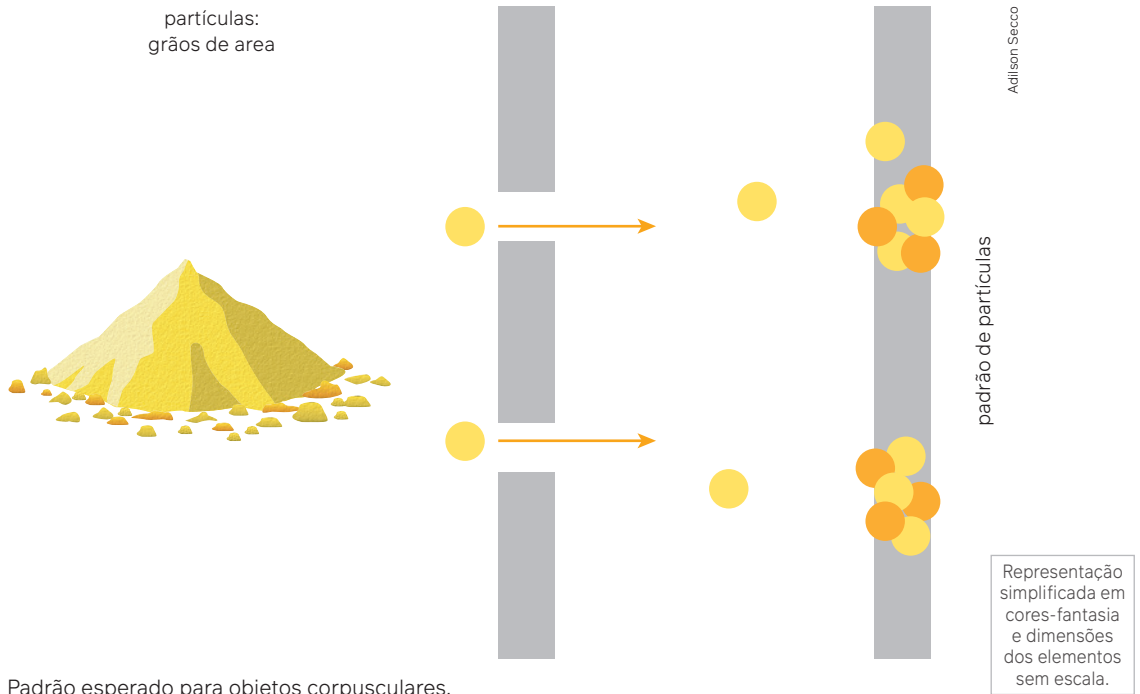
Adilson Secco

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.



O resultado esperado para um comportamento ondulatório seria de 5 marcas, das quais, as duas centrais mais fortes e a periféricas mais fracas.

Vamos compreender por que os resultados esperados são esses para cada um dos modelos propostos. Para objetos corpusculares era de se esperar que, na medida em que passassem pela fenda dupla ocorreria o acúmulo dessas partículas na mesma região de cada uma das fendas. Poderia acontecer de ter um espalhamento desses objetos, mas de modo ínfimo quando comparado com o acúmulo nas regiões mencionadas. Imagine esse experimento da dupla fenda sendo realizado quando os objetos são grãos de areia, a observação é que na medida em que são arremessados nas fendas, se acumulam nessas direções.



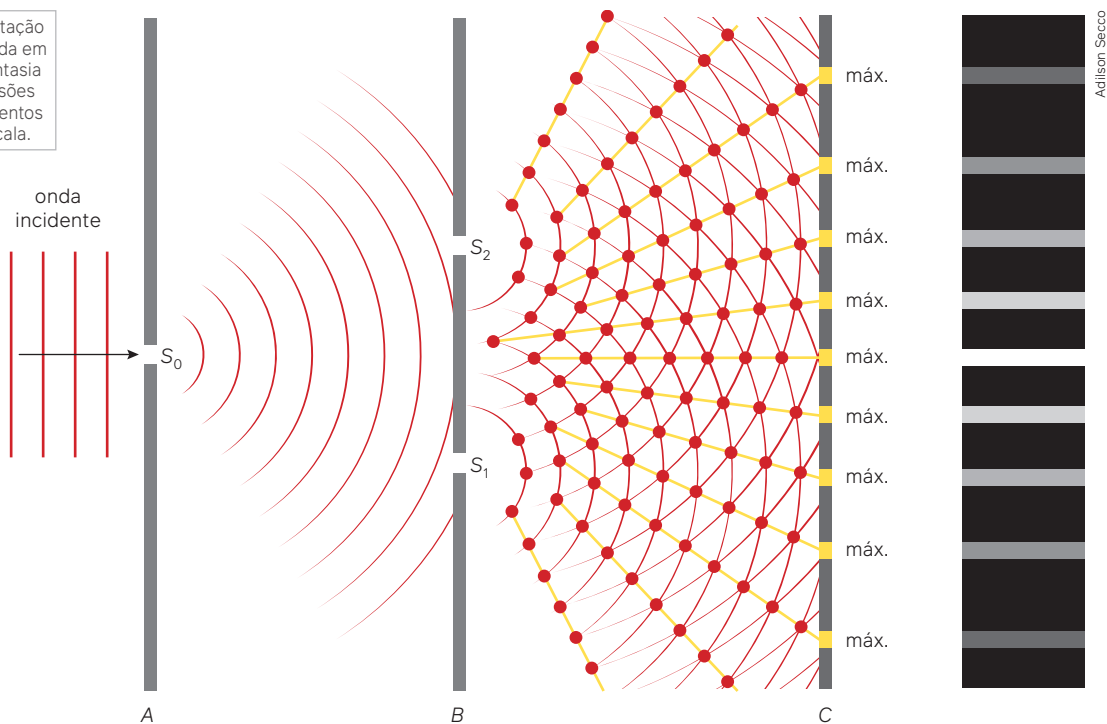
Padrão esperado para objetos corpusculares.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

No entanto, o resultado mais esperado não era para o modelo corpuscular, e sim para o ondulatório. Podemos dizer que um dos grandes avanços permitidos pelo experimento de Young era justamente compreender qual seria o perfil de observação esperado para as ondas. Nesse caso, ao passar pela fenda dupla, a proposição é a mesma que a de Huygens, ou seja, a de que cada ponto da frente de onda se comportaria como uma nova onda geradora. Além disso, essas ondas interfeririam umas com as outras gerando padrões de interferência construtiva e destrutiva. Dessa maneira, no anteparo ao final, seria esperado observar algumas franjas, ora com concentração luminosa, ora sem, indicando esses padrões de interferência.

Como conclusão, Young observa que a luz apresenta o comportamento esperado para uma onda. Assim, o debate sobre a natureza da luz parece ser encerrado: a luz possui comportamento ondulatório! Bem, a aceitação dessa mudança de cenário não foi tão facilmente realizada pelo meio acadêmico. Lembre-se de que a teoria corpuscular carregava o legado das ideias de Newton e a influência da aplicação das leis da mecânica na área da óptica. Além disso, a configuração experimental proposta por Young era complexa e ainda não havia uma sistematização fechada entre a teoria e a experimentação.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

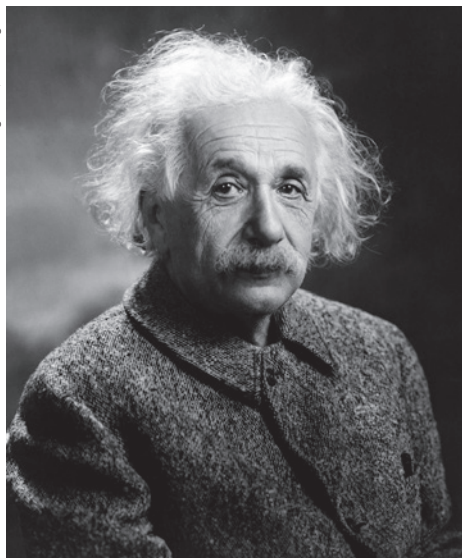


Padrão esperado para ondas.

O ocorrido foi que em 1818 a Academia de Ciências da França lançou um desafio à comunidade científica: a explicação do fenômeno da difração que contemplasse as análises teóricas e experimentais de maneira coerente e consistente. No fundo, a expectativa da Academia de Ciências era que houvesse uma proposição corpuscular para a explicação de tal fenômeno, uma vez que os jurados das proposições eram todos defensores da teoria corpuscular. O nome mais proeminente para esse debate do lado dessa teoria era Siméon-Denis Poisson (1781-1840). Apesar dessa expectativa corpuscular, o vencedor do prêmio foi Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), cuja explicação se pautava na hipótese ondulatória.

A volta do modelo corpuscular: o efeito fotoelétrico

Biblioteca do Congresso, Washington



Muitas pessoas relacionam Einstein à teoria da relatividade, mas poucas sabem que ele recebeu um prêmio Nobel pelo seu estudo do efeito fotoelétrico, em que se assume que a luz tem um comportamento corpuscular.

O debate sobre a natureza da luz parecia ter cessado por volta de 1840 após a proposição do caráter ondulatório por Fresnel. No entanto, em 1888 houve um novo início de aspectos que a teoria ondulatória não era capaz de explicar. Neste ano, o físico Hertz realizava experimentos para evidenciar a proposição teórica da existência das ondas eletromagnéticas; durante esses experimentos, ele observou o surgimento de algumas faíscas que eram capazes de alterar a sensibilidade do detector utilizado. O físico Phillip Lenard descobriu que isso ocorria devido à ejeção de alguns elétrons das placas devido à emissão de radiação ultravioleta. Esse fenômeno ficou conhecido como efeito fotoelétrico, mas ainda não tinha uma explicação pela teoria ondulatória clássica.

Foi só em 1905 que o físico Albert Einstein (1879-1955) propôs uma explicação para este fenômeno, explicação essa que rendeu o Prêmio Nobel a ele. Dedicaremos o próximo capítulo para o estudo do efeito fotoelétrico. No entanto, precisamos enfatizar aqui um aspecto essencial dessa teoria explicativa: para que fosse possível explicar esse efeito, Einstein pressupôs o comportamento corpuscular da luz novamente, e apenas dessa forma as proposições teóricas foram capazes de descrever bem o efeito fotoelétrico. Associado com a quantização da matéria proposta por Max Planck (1858-1957), Einstein propôs que a radiação eletromagnética poderia ser descrita como pacotes de energia bem delimitados pela quantização.

Dualidade: a proposta final

Depois de todas essas discussões, será que a explicação sobre a natureza da luz voltou a ter o caráter corpuscular? Na realidade, sim e não. O grande modelo proposto após esses diversos séculos de discussão foi a **dualidade onda-partícula**. A partir desse modelo, a Física Moderna apresenta a interpretação de que a natureza da luz é dual, ou seja, ora se comporta como onda, ora se comporta como partícula. Talvez você sinta um estranhamento ao buscar compreender essa dualidade... Como assim, depois de todos esses anos de discussão, não chegamos a uma caracterização única?

Um aspecto interessante da discussão sobre a natureza da luz é que ela nos encaminha para a discussão sobre a natureza da Ciência, em particular da Física e como essa área do conhecimento constrói explicações para o que observamos no mundo real. Ao assumirmos que a natureza da luz é dual não estamos dizendo que a luz “escolhe” ser uma onda ou uma partícula a depender do fenômeno, o que queremos dizer é que a própria Física não tem um modelo único que se mostre capaz de explicar todos os comportamentos que a luz manifesta. A conclusão é que, para esse fenômeno natural em particular, o melhor modelo explicativo possível é assumir que ambos funcionam, mas para fenômenos diferentes.

Somado à dualidade onda-partícula proposta por Einstein, o físico Niels Bohr (1855-1962) também propõe o **princípio da complementariedade**, que afirma que a luz se comporta ou como uma partícula ou como uma onda, mas nunca como ambas simultaneamente.

#FicaADica

Alice no país do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos

Robert Gilmore (Zahar, 1998)

Este livro associa a personagem Alice, aquela do país das maravilhas de Lewis Carroll, com características do mundo quântico. O autor é capaz de descrever as diversas peculiaridades da Física Quântica de maneira acessível, mesmo a aqueles que ainda não a conhecem. Com esse livro, os leitores conseguem se aproximar desse universo junto com Alice, que compreende o mundo quântico aos poucos apesar de todas as confusões inerentes a ele.



Atividades propostas



1. Produza uma linha do tempo sobre a discussão da natureza da luz, evidenciando os principais embates de ideias, considerando a época em que ocorreram, os principais cientistas e suas proposições.
2. A partir do estudo sobre a dualidade onda-partícula, discuta com seus colegas e elenque características sobre a natureza do fazer científico. Quais aspectos do desenvolvimento do conhecimento científico ficam evidenciados com esse debate sobre a dualidade?
3. Vocês conseguem perceber algumas dessas características elencadas na questão anterior na produção do conhecimento científico atual? Justifique sua resposta com exemplos.
4. (Enem – 2019) Quando se considera a extrema velocidade com que a luz se espalha por todos os lados e que, quando vêm de diferentes lugares, mesmo totalmente opostos, [os raios luminosos] se atravessam uns aos outros sem se atrapalharem, compreende-se que, quando vemos um objeto luminoso, isso não poderia ocorrer pelo transporte de uma matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala atravessa o ar; pois certamente isso repugna bastante a essas duas propriedades da luz, principalmente a última. (HUYGENS, C. In: MARTINS, R. A. Tratado sobre a luz, de Cristiaan Huygens. *Caderno de História e Filosofia da Ciência*, [s. l.], supl. 4, 1986) O texto contesta que concepção acerca do comportamento da luz?
 - a) O modelo ondulatório para a luz, o qual considera a possibilidade de interferência entre feixes luminosos.
 - b) A ideia defendida pelos gregos de que a luz era produzida pelos olhos.
 - c) A crença na velocidade infinita da luz, defendida pela maioria dos filósofos gregos.
 - d) O entendimento de que a luz precisa de um meio de propagação, difundido pelos defensores da existência do éter.
 - e) O modelo corpuscular defendido por Newton, que descreve a luz como um feixe de partículas.

A produção do conhecimento científico, os cientistas e seus contextos

Considerando os nomes dos cientistas que citamos neste capítulo, o objetivo deste trabalho é refletir sobre a produção do conhecimento desenvolvido por esses autores e a relação com o contexto em que se encontravam. Para tanto, você deverá pesquisar sobre as principais produções e o contexto dos autores mencionados e refletir sobre como esse contexto pode ter influenciado suas pesquisas e como suas produções influenciaram o desenvolvimento da Ciência.

Material:

- cartaz para a sistematização da pesquisa;
- fontes de consulta para a pesquisa.

Procedimentos

A partir da orientação do(a) professor(a) sobre a divisão dos grupos e dos temas, divida seu trabalho da seguinte maneira:

Parte 1: Pesquise e sistematize aspectos da vida do cientista, como o país de origem, época e local(is) em que viveu, aspectos que caracterizam a personalidade do pesquisador e quais foram os seus principais trabalhos.

Parte 2: Pesquise e sistematize quais são os principais aspectos históricos, sociais e culturais do país e época em que o cientista viveu.

Parte 3: Pesquise e sistematize as principais implicações do desenvolvimento do trabalho do autor pesquisado.

Trocando ideias

1. Tendo como base as três partes definidas acima, busque correlações entre cada uma delas e discuta com seus colegas. Por exemplo, busque responder como o contexto histórico, social e cultural pode ter influenciado a vida desse cientista e, por consequência, o trabalho desenvolvido por ele. Além disso, pense nas implicações das principais contribuições desse cientista: como elas afetaram o meio acadêmico e a sociedade depois que surgiram?

Postulado de de Broglie

Uma hipótese interessante proposta pelo físico francês Louis de Broglie (1892-1987) foi a seguinte: se a luz pode ser interpretada como uma onda, mas é capaz de transferir quantidade de movimento e energia através dos fótons (partículas), não seria possível os elétrons (partículas) também manifestarem energia como uma onda? Assim, em 1924, ele propôs que outras partículas também poderiam manifestar caráter ondulatório assim como a luz e matematizou a relação do comprimento de onda (λ) associado a essas partículas com a seguinte equação:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

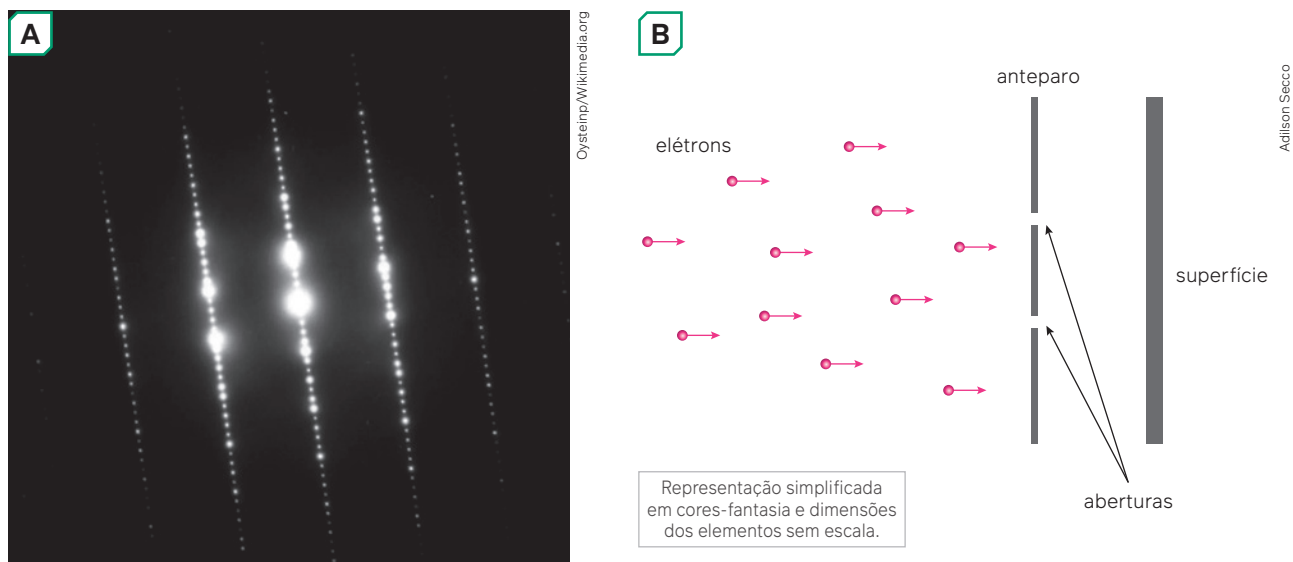
Na equação h é a constante de Planck que vale $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ e p é a quantidade de movimento da partícula que é igual ao produto de sua massa pela velocidade. Um aspecto importante de se ressaltar desta equação é a união de duas grandezas que, até então, pertenciam a descrições de fenômenos de naturezas distintas: o comprimento de onda (λ) era uma grandeza associada apenas a fenômenos de natureza ondulatória, enquanto o momento linear ou a quantidade de movimento (p) descrevia fenômenos de natureza não ondulatória. Com o postulado de de Broglie temos a junção da natureza dessas duas áreas quando tratamos da descrição de fenômenos do mundo quântico, o que é representado na equação pela constante de Planck.

Além disso, quando falamos em ondas eletromagnéticas, não associamos massa a elas, portanto para a determinação da quantidade de movimento (p) dessas ondas precisamos utilizar a seguinte equação que associa a quantidade de movimento de uma onda eletromagnética com sua frequência (f) e velocidade de propagação (c).

$$p = \frac{hf}{c}$$

O postulado de de Broglie foi verificado experimentalmente pelos físicos Clinton Davisson (1881-1958) e Lester Germer (1891-1971) através da construção de um aparato experimental que possibilitasse a observação da difração

de elétrons. A ideia era que, se os elétrons de fato também se comportassem como ondas, então também seria possível observar sua difração, tal como ocorre para a luz quando realizamos o experimento da dupla fenda de Young. Assim, eles dispararam um feixe de elétrons através de uma fenda dupla e observaram um padrão de interferência semelhante ao de uma onda.



Na imagem (A) vemos o padrão de difração de elétrons, enquanto que na imagem (B) temos uma representação esquemática para a difração de elétrons.

Um questionamento interessante que é suscitado a partir do postulado de de Broglie é o seguinte: se podemos associar o comportamento ondulatório a partículas no mundo microscópico, por que não observamos essas difrações ocorrendo a nível macroscópico também, já que a princípio poderíamos associar um comportamento ondulatório a qualquer matéria?

A resposta para esse questionamento está relacionada com as condições para a observação da difração: o tamanho das fendas que utilizamos para a difração deve ser da mesma ordem de grandeza do que o comprimento de onda associado à partícula analisada. Evidenciaremos essa questão com um exemplo: vamos calcular o comprimento de onda de um elétron de massa $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg com velocidade de $3 \cdot 10^7$ m/s e comparar com o comprimento de onda de uma pessoa de 60 kg se deslocando com velocidade de 2 m/s.

Comprimento de onda do elétron:

$$\lambda = \frac{h}{p} \Rightarrow \lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^7} \therefore \lambda \simeq 2,4 \cdot 10^{-11} \text{m}$$

Comprimento de onda da pessoa:

$$\lambda = \frac{h}{p} \Rightarrow \lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{60 \cdot 2} \therefore \lambda \simeq 5,5 \cdot 10^{-36} \text{m}$$

Note que a ordem de grandeza do comprimento de onda associado à pessoa é muito pequena. Estudamos a complexidade do desenvolvimento experimental para a observação de difração devido ao tamanho da fenda que deve ser construída. Como conclusão, podemos afirmar que no mundo macroscópico não observamos as difrações justamente devido às ordens de grandezas necessárias para a observação de tal fenômeno.

Uma consequência importante do postulado de de Broglie é a sua consequência para a interpretação do átomo de Bohr. Na época, ainda era uma incógnita o motivo pelo qual apenas algumas camadas eram possíveis de abrigarem os elétrons. Utilizando o postulado de de Broglie, a associação era a de que apenas essas camadas eram possíveis devido a quantização relacionada aos elétrons, ou seja, que dentro do átomo os elétrons apenas existiam como uma onda estacionária de tal forma que em cada camada ele possuía uma velocidade e um comprimento de onda associado, delimitando-os ao pertencimento de apenas algumas camadas possíveis.

Além da possibilidade de determinar o comprimento de onda das partículas, por exemplo, a de um fóton, pode-se calcular também a energia de cada um deles a partir de grandezas que caracterizam comportamentos ondulatórios, como o comprimento de onda e a frequência. Albert Einstein, ao descrever o efeito fotoelétrico, interpretando a luz como uma partícula, associou a frequência de cada fóton a uma certa quantidade de energia. Na equação utilizada para a descrição observa-se a presença da constante de Planck, pois foi quem primeiro descreveu a natureza quantizada da matéria, ou seja, considerou que a energia total da radiação eletromagnética era dada pela soma da energia de cada fóton. Por essa razão, a equação que possibilita o cálculo da energia dos fótons a partir de suas características ondulatórias é conhecida por relação de Planck-Einstein e é expressa matematicamente por:

$$E = hf$$

Na equação, E é a energia do fóton, f é sua frequência e h é a constante de Planck. Em geral, essa energia é expressa em uma unidade chamada de elétron-volt, que é a quantidade de energia que um elétron adquire ao ser acelerado por uma diferença de potencial elétrico de um volt. Essa unidade de medida é utilizada por ser mais coerente com os valores obtidos quando estudamos o mundo quântico, uma vez que 1 eV equivale a aproximadamente $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Princípio da Incerteza de Heisenberg

Uma outra decorrência tão fundamental quanto a dualidade onda-partícula está relacionada com a proposição do Princípio da Incerteza do físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976).

Considere o seguinte: pelas leis da mecânica clássica conseguimos delimitar bem a posição e a velocidade dos objetos corpusculares. Por exemplo, se quiser descrever o comportamento de um carro em uma estrada, com os instrumentos ideais e uma boa capacidade de referenciação no espaço, você seria capaz de mensurar a posição e a velocidade de um carro durante todo o intervalo de tempo de uma viagem.

Agora, vamos estender nossas ideias para o mundo quântico: se a luz e outras partículas, apesar de serem descritas por vezes como uma onda, também são descritas como objetos corpusculares, haveria motivo para não sermos capazes de descrever suas posições e velocidades concomitantemente como fazemos no mundo macroscópico? À primeira vista parece não haver impossibilidade, certo? No entanto, a conclusão obtida por Heisenberg nos evidencia o contrário de nossas intuições.

Para que sejamos capazes de descrever a posição do elétron, já que não somos capazes de vê-los a olho nu, precisamos fazer com que ele interaja com a luz, ou seja, de alguma maneira haveria a interação entre a radiação eletromagnética com esse elétron. Essa interação inevitavelmente afetaria a posição e a velocidade desse elétron. Em outras palavras, a nossa tentativa de verificar a posição do elétron não é capaz de acontecer sem que a gente acabe por alterar essa medida inicial. É baseado nessa impossibilidade que Heisenberg postula o Princípio da Incerteza, que afirma que é impossível mensurarmos a posição e a velocidade de um elétron com precisão ao mesmo tempo. Matematicamente esse princípio é descrito por:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Na equação, Δx é a incerteza na medida da posição, Δp é a incerteza na medida do momento linear e h é a constante de Planck. Note que a proposição de Heisenberg não está associada com uma impossibilidade instrumental, mas com uma impossibilidade de acessibilidade às propriedades de grandezas que associamos às partículas.

Se quisermos voltar ao mundo macroscópico com a lente do princípio da incerteza, nossas conclusões parecem não fazer sentido: é como dizer que você seria incapaz de dizer o valor do velocímetro do carro se você soubesse exatamente onde está na estrada ou sabendo sua localização, você não pudesse acessar de forma alguma o valor da velocidade com que se desloca. Essa aparente contradição nos atenta novamente para as diferenças fundamentais que a compreensão do mundo microscópico nos apresenta: não é possível descrever esse universo com o mesmo olhar do mundo macroscópico.

Uma consequência fundamental do Princípio da Incerteza foi o impacto que teve para a transição entre a ideia determinista da Física para a probabilística, pelo menos no que se refere ao mundo quântico. Uma nova interpretação para o modelo atômico foi proposta por Erwin Schroedinger (1887-1961) resultando em regiões de probabilidade de localização do elétron no átomo.

Atividades comentadas

1. (URCA – 2010). O comprimento de onda da radiação eletromagnética associada a um fóton de 5 elétron-volt (eV) é:

Dados: constante de Planck (h) = $6,6 \cdot 10^{-34}$ J · s velocidade da luz no vácuo = $3,0 \cdot 10^8$ m/s $1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ m
 $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ J

- a) $125 \cdot 10^{-3}$ \AA
- b) 2475 \AA
- c) 2120 m
- d) 2475 m
- e) 2045 \AA

Resolução:

Resposta: alternativa **b**. Para resolver esse exercício, precisamos considerar duas equações, são elas: $E = hf$ e $c = \lambda f$. Isolando a frequência na segunda e substituindo na primeira, temos que:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E}$$

Além disso, precisamos converter a energia fornecida em elétron-volt para joules:

$$1 \text{ eV} \text{ ————— } 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} \text{ ————— } E$$

Assim, $E = 8 \cdot 10^{-19}$ J. Então, substituindo os valores, teremos:

$$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{8 \cdot 10^{-19}} \Rightarrow \lambda = 2,475 \cdot 10^{-7} \Rightarrow \lambda = 2475 \cdot 10^{-10} \therefore \lambda = 2475 \text{ \AA}$$

2. O Princípio da Incerteza de Heisenberg postula que é impossível determinar com máxima precisão a posição e a velocidade de uma partícula ao mesmo tempo. Considere um experimento que determina a incerteza da posição de um elétron como $\Delta x = 1,0 \cdot 10^{-10}$ m. Nessa situação, qual deve ser a menor incerteza da quantidade de movimento dessa partícula?

Resolução:

Para resolver essa questão, precisamos considerar a equação que sistematiza o Princípio da Incerteza:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

Assim, substituindo o valor da incerteza da posição e o valor da constante de Planck, teremos:

$$\Delta p \geq \frac{h}{4\pi \Delta x} \Rightarrow \Delta p \geq \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{4\pi \cdot 1 \cdot 10^{-10}} \therefore \Delta p \geq 5,2 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Atividades propostas



- Um elétron é acelerado por uma diferença de potencial de 120 volts. Determine a frequência desse elétron considerando que sua energia cinética pode ser calculada pela multiplicação de sua carga pela diferença de potencial aplicada sobre ele. Considere que a carga do elétron é $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Adote $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J · s como o valor da constante de Planck.
- Qual deve ser a ordem de grandeza mínima da incerteza da mensuração da posição de uma partícula se obtém-se o como incerteza da quantidade de movimento dessa partícula?
- Qual foi a principal contribuição do postulado de de Broglie para a compreensão da natureza da matéria?

4. Qual é a relação entre o postulado de de Broglie e o experimento da difração de elétrons?
5. A radiação ultravioleta é letal para muitos microrganismos, como bactérias, leveduras, algas e vírus. Admita que a dose letal da radiação ultravioleta de 248 nm, para uma bactéria, seja de 12 MeV. O número de fótons desta radiação que corresponde à dose letal é da ordem de:

Dados: considere $1\text{nm} = 1 \cdot 10^{-9}\text{ m}$, $1\text{ MeV} = 1 \cdot 10^6\text{ eV}$, $h = 6,6 \cdot 10^{-34}\text{ J} \cdot \text{s}$, $c = 3 \cdot 10^9\text{ m/s}$ e $1\text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-15}\text{ J}$

- a) 10^{10}
b) 10^8
c) 10^2
d) 10^4
e) 10^6

Ciência por fora

As cores ao longo da ciência

A epidemia de Peste Bubônica, que assolou a Inglaterra entre 1665 e o ano seguinte, ficou conhecida como a Grande Praga de Londres [...]. Para a História da Ciência o período da epidemia ficou conhecido como *Anni Mirabilis*, devido às contribuições de Newton ao conhecimento humano realizadas durante seu isolamento. Uma das contribuições é uma Teoria das Cores, cujo ponto de partida foi a observação da decomposição de um feixe de luz branca nas cores do arco íris ao passar por um prisma.

Newton observou que cores diferentes sofriam deflexões (o termo mais apropriado é refrações) diferentes: “os raios menos refrangíveis são dispostos a exibir a cor vermelha [...] e os mais refrangíveis exibem uma cor violeta profunda”. Os experimentos de Newton eram engenhosos e as medidas rigorosas para os padrões da época. Alguns anos mais tarde ele publicou sua *Nova teoria sobre a luz e cores*, de 1672[...].

Sua nova teoria estabelecia uma propriedade física para diferenciar as cores: seus ângulos de refração. Newton criou assim a expressão “espectro de cores”: começando no vermelho, passando por laranja, amarelo, verde, azul, índigo e violeta. No entanto, isso nada dizia sobre a natureza da luz. Newton acreditava que a luz seria composta por um feixe de partículas, que teriam massas diferentes, dependendo da cor. Contemporâneos, como Christiaan Huygens, acreditavam que a luz era composta por ondas que se propagam. Reflexão da luz, que todos conhecemos quando olhamos no espelho, e a refração (o efeito que faz com que, quando observamos uma colher em um copo de água, ela pareça “quebrada”), que ocupou a mente de Newton em seu retiro, não poderiam decidir entre uma e outra hipótese. Era necessário medir algo diferente: ondas sofrem interferência, partículas podem se chocar, mas não interferem [...]. O autor da façanha foi outro cientista inglês, Thomas Young, que em 1802 publica o seu *Sobre a teoria da luz e das cores*. Young é muito cuidadoso para introduzir a teoria ondulatória, contrária à “doutrina” de partículas de Newton, que poucos se atreviam a contestar, mesmo décadas após o falecimento de seu autor.

Young começa seu artigo declarando que no fundo ele não faz nada de muito novo. Anuncia que “as observações ópticas de Newton ainda são incomparáveis e, excetuando algumas inexatidões, nossa admiração somente aumenta por elas, quando as comparamos com tentativas posteriores de melhorá-las”. Afirma ainda (e com razão) que “um exame mais extensivo dos vários escritos de Newton mostram que ele em realidade foi o primeiro a sugerir tal teoria”. Ou seja, Young constrói um discurso que atribui a Newton um arcabouço da teoria ondulatória, afinal o seu antecessor chegara a descrever e interpretar também um fenômeno particular de interferência, que ficou conhecido como “os anéis de Newton”. Young, no entanto, vai muito mais longe e consegue definir as diferentes cores pela medida de frequências das ondas, compiladas na tabela que ilustra esse artigo. Agora as cores passaram a ser definidas não mais por ângulos de refração, mas pelas frequências das sete cores do espectro, substituindo a “doutrina Newtoniana”, mas insistir em desdizê-la seria “desnecessário e tedioso”:

“Os méritos do seu autor (Newton) em Filosofia Natural estão bem além de qualquer contestação ou comparação, suas descobertas ópticas da composição da luz branca por si só immortalizam seu nome, e, os vários argumentos que tendem a derrubar seu sistema fornecem as mais fortes evidências da precisão admirável de seus experimentos.”

Esses eram os cuidados necessários no começo do século XIX para que se aceitasse finalmente uma nova teoria que se contrapunha a uma que era dogmaticamente aceita. Mas restava um problema: como as cores

são percebidas por nós, independentemente de serem ondas ou partículas? Era preciso separar o espectro óptico, analisado até então pelos físicos, da percepção humana das cores. Alguns anos depois do trabalho de Thomas Young, em 1810, aparece uma outra “Teoria das cores” para lidar com o problema. Dessa vez não foi publicada por um físico, mas por um poeta: Johan Wolfgang von Goethe. O autor de Fausto fez experimentos e catalogou cores em seu livro, criticando também a “doutrina de Newton” de um ponto de vista diferente do de Young. Sua teoria teve recepção dividida: influenciou artistas visuais, incluindo a escola de Bauhaus, que, por sua vez, influenciou a ciência; mas foi rechaçada pela maioria dos físicos. Despertou ainda interesse de filósofos, em particular de Arthur Schopenhauer, que acabou publicando seu *Sobre visão e cores* em 1816. Os dois alemães discutiram acaloradamente e o filósofo, embora sempre respeitando o poeta, acabou se distanciando deste. Para Goethe, percepção de cores seria algo mais psicológico e para Schopenhauer algo mais fisiológico. Ainda hoje se discute se a teoria de Goethe é ciência ou não. O papel do poeta como cientista e suas contribuições, diretas ou indiretas, à ciência, ainda são vasculhados e discutidos. O poeta, autodidata em várias áreas, acreditava que seria reconhecido mais pelas suas contribuições científicas do que por sua obra literária.

A percepção das cores também interessava aos físicos no século XIX, entre eles James Clerk Maxwell, que aliás ganhou um prêmio pelo seu trabalho “Sobre a teoria da visão das cores”. No entanto, esse físico escocês entra nessa história não pela visão das cores, mas por um problema deixado em aberto até aqui: afinal, qual é a natureza da luz? Thomas Young no começo do século XIX demonstrou que a luz seria composta de ondas. Mas ondas do quê? Maxwell, 60 anos depois, demonstrou que oscilações de campos elétricos e magnéticos se propagam como ondas e com a velocidade da luz. Não era coincidência, passamos a entender a natureza do espectro ótico destrinchado dois séculos antes por Newton.

O problema da visão das cores é consagrado também no mais instigante livro texto de Física já escrito, *The Feynman Lectures on Physics*. Richard Feynman dedica dois grandes capítulos ao tema: “Visão de Cores”, seguido de “Mecanismos da visão”, onde se lê um possível resumo dessa história toda, além de uma metáfora para a ciência:

“Na verdade, as pessoas que estudam anatomia e o desenvolvimento dos olhos mostraram que a retina é, de fato, o cérebro: no desenvolvimento do embrião, uma parte do cérebro avança para fora e longas fibras crescem para trás, conectando os olhos ao cérebro. A retina é organizada da mesma forma que o cérebro e, como alguém disse graciosamente, ‘o cérebro desenvolveu uma maneira de olhar para fora para o mundo. O olho é uma porção do cérebro que toca a luz, por assim dizer, do lado de fora’”.

SCHULZ, P. As cores ao longo da ciência. *Com ciência*, [São Paulo], 9 mar. 2020.

Disponível em: <https://www.comciencia.br/as-cores-ao-longo-da-ciencia>.

Acesso em: 12 set. 2024.

Trocando ideias

1. De acordo com o texto, quais são as influências da discussão sobre a natureza da luz para outras áreas do conhecimento?
2. No texto, a discussão sobre a natureza da luz parece ser menos importante para outras áreas do conhecimento frente a outros questionamentos. Exemplifique como essa afirmação aparece no texto e quais são as outras áreas mencionadas e suas relações com a Ciência e a sociedade.



Vídeo

Quando podemos chamar algo de “quântico”?

Recapitule

Neste capítulo, fomos capazes de discutir sobre a natureza da matéria e da luz, compreendendo que do ponto de vista da Física Moderna, podemos descrevê-la com o caráter dual entre onda e partícula. Para tanto, utilizamos o embate de ideias de diferentes personalidades, como Huygens, Newton, Fresnel, Poisson, Einstein e de Broglie. Posteriormente, analisamos o Princípio da Incerteza de Heisenberg e alguns de seus impactos para a Física Moderna.

Retome as questões que constam na abertura do capítulo, no box **Para refletir**. Com base no que você aprendeu, como responderia a essas questões? Você alteraria alguma resposta?

Para consolidar o aprendizado, elabore um mapa mental em seu caderno, relacionando os principais conceitos estudados, incluindo definições e equações.

O efeito fotoelétrico



Charge-Coupled Device (CCD), dispositivo de carga acoplada.

Células fotovoltaicas.

▼ Para refletir

A explicação fornecida por Albert Einstein para o efeito fotoelétrico possui uma importância fundamental para a Física e podemos observar em nosso cotidiano diversas aplicações tecnológicas que utilizam esse fenômeno como base.

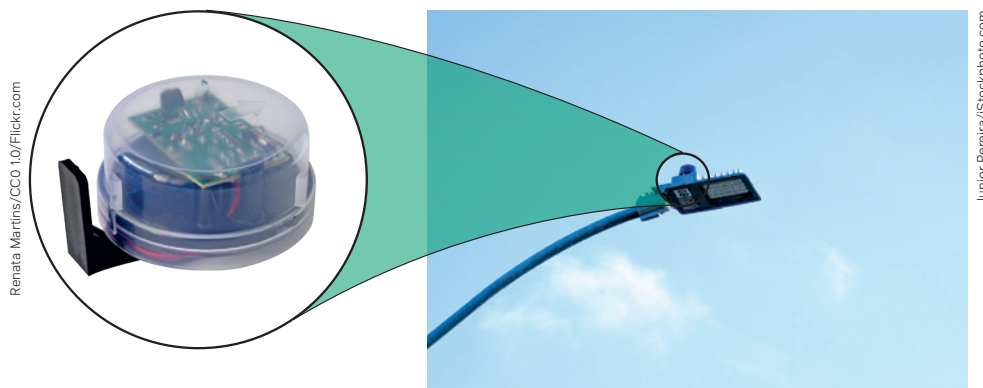
1. Já se perguntou como funciona o mecanismo de iluminação das ruas? Como as lâmpadas dos postes se acendem todos os dias?
2. Como as células fotovoltaicas conseguem gerar energia elétrica?
3. Como as câmeras digitais conseguem registrar imagens?
4. Você consegue elencar ao menos dois fatores que estão relacionados à explicação das três perguntas acima?

Objetivos do capítulo

- Compreender as limitações da Física Clássica para explicar o efeito fotoelétrico.
- Reconhecer a relevância da descrição do efeito fotoelétrico a partir da natureza corpuscular e quantizada da luz.
- Operar matematicamente com a equação proposta por Einstein para entender o efeito fotoelétrico.
- Explicar como o efeito fotoelétrico é utilizado em diferentes aplicações tecnológicas.

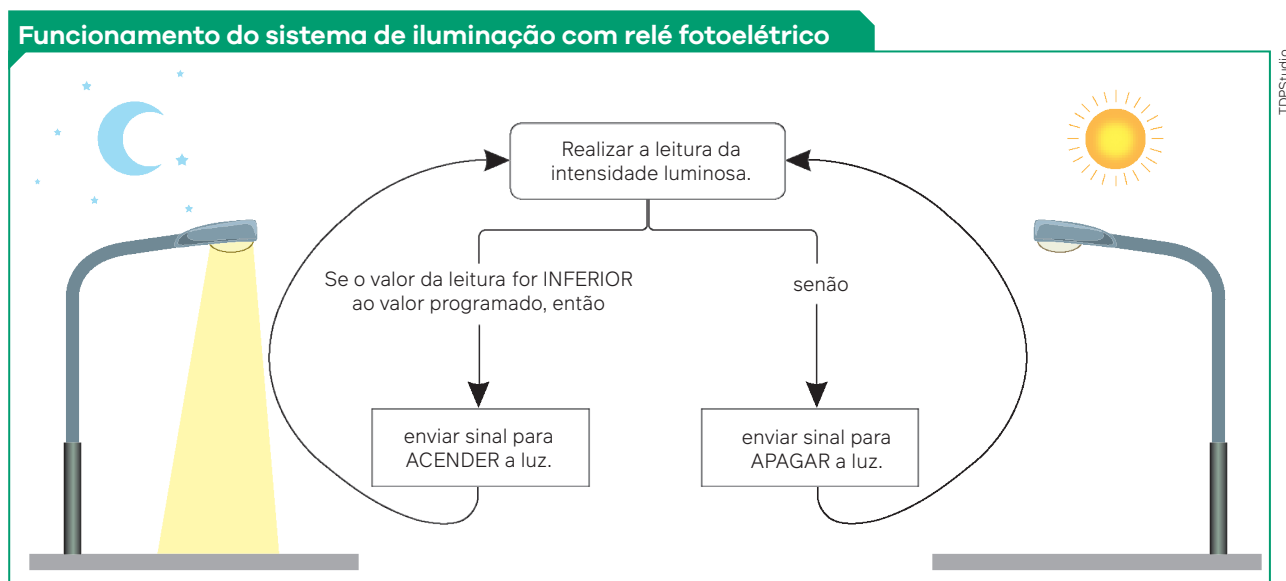
Postes de iluminação: Qual é a relação com a Física Moderna?

Você já deve ter reparado que os postes de iluminação das cidades acendem todos os dias, mas nem sempre o fazem exatamente no mesmo horário. Quando o dia fica muito escuro, mesmo que ainda seja relativamente cedo, é possível observarmos as lâmpadas acendendo. Você já se perguntou como ocorre esse processo? Ao contrário do que se pode imaginar em uma primeira análise, não há alguém responsável por acender as lâmpadas dos postes todos os dias, uma vez que esse processo é automatizado: um aparelho, o **relé fotoelétrico**, é instalado em cima dos postes. Ele é capaz de converter o sinal luminoso em um sinal elétrico, de tal forma que, se houver luminosidade, será enviado um tipo de sinal ao circuito em que ele está conectado, mas se não houver, será enviado um sinal oposto.



Poste de iluminação pública equipado com relé fotoelétrico.

Esse sinal, enviado pelo relé fotoelétrico ao circuito, é interpretado a partir de um código de programação, que, por sua vez, produz um dado de saída. Basicamente, a integração e o sinal enviado pelo relé devem funcionar conforme o fluxograma a seguir.



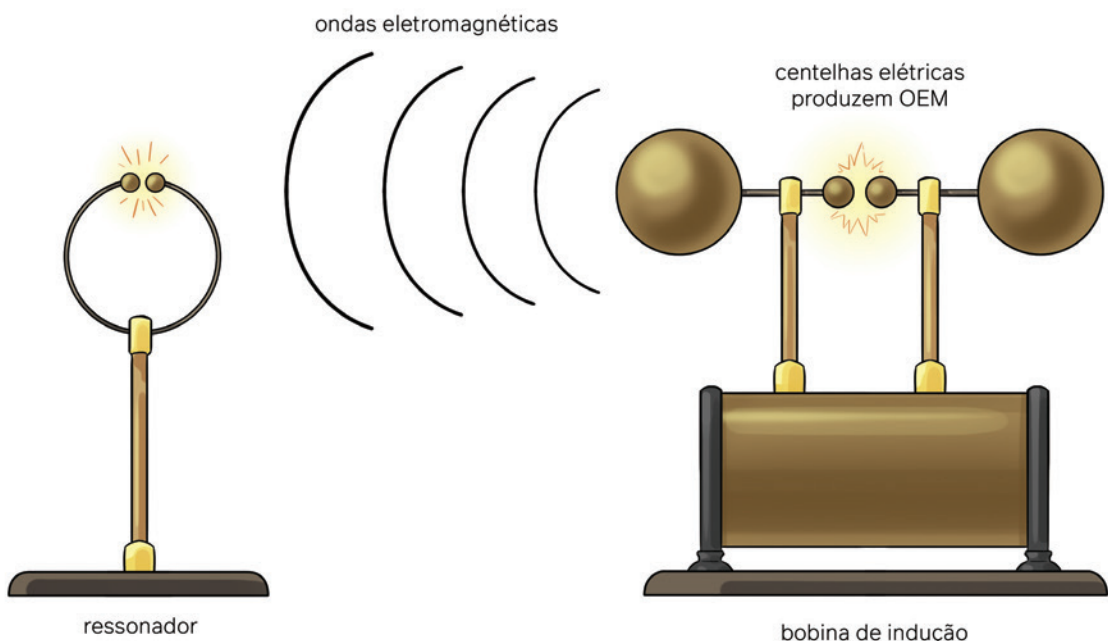
Fluxograma de funcionamento do sistema de iluminação dos postes equipados com relé fotoelétrico.

Um aspecto fundamental no processo de funcionamento desse equipamento reside na seguinte pergunta: Como a luminosidade pode estar relacionada com os sinais elétricos enviados? Bem, o equipamento que estamos analisando se chama relé fotoelétrico, o que indica que ele tem como base de funcionamento o efeito fotoelétrico que mencionamos brevemente no capítulo anterior. Agora, vamos estudar as peculiaridades desse fenômeno através da lente da Física Moderna e veremos como ele é aplicado no funcionamento de diferentes tecnologias atuais, além da iluminação dos postes de ruas.

O que é o efeito fotoelétrico?

A descrição do **efeito fotoelétrico** rendeu ao renomado físico Albert Einstein (1879-1955) o prêmio Nobel de Física. Apenas por esse indício já podemos suspeitar que a descrição física deste fenômeno possui uma importância significativa para a Ciência.

O primeiro registro da ocorrência do efeito fotoelétrico nos remete ao ano de 1886. Na época, o físico Heinrich Hertz (1857-1894) buscava verificar experimentalmente a existência das ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell. Para tanto, Hertz utilizava um aparato experimental, no qual era possível observar que a produção de uma descarga elétrica, observada como uma faísca entre duas placas metálicas, poderia gerar uma faísca secundária em uma outra que estivesse próxima.



Experimento de Hertz que buscava investigar a existência das ondas eletromagnéticas. Uma bobina carrega dois capacitores ligados aos extremos de uma antena emissora, separados por pequena distância. Entre esses extremos nasce uma faísca; a antena produz as ondas de rádio (radiação eletromagnética); essa radiação é captada por uma antena receptora, em forma de espira aberta, e produz faíscas nos extremos dela.

Um aspecto que chamou a atenção de Hertz foi o fato de que as faíscas emitidas aumentavam a sensibilidade do sensor utilizado. A partir disso, ele realizou alterações na configuração do experimento a fim de compreender a influência da luz no fenômeno. Uma das observações de Hertz indicou que, quando se colocava uma ampola de vidro ao redor do receptor, a faísca observada era de menor intensidade. No entanto, ao trocar essa ampola por uma placa de quartzo, a faísca voltava ao tamanho original. Posteriormente, o físico Philipp Lenard (1862-1947), que trabalhava com Hertz, relacionou essa observação à passagem da radiação ultravioleta na chapa, resultando na liberação de elétrons. Na ampola de vidro, parte da radiação era bloqueada, o que explicava a redução da intensidade da faísca.

Essa observação era parcialmente explicada a partir das teorias do eletromagnetismo, pois já se sabia que a radiação eletromagnética era uma perturbação conjunta dos campos elétricos e magnéticos e que esses campos eram capazes de interagir com os elétrons que compõem materiais metálicos. No entanto, há algumas particularidades no efeito observado que a teoria clássica não consegue explicar. Essas características serão agora exploradas com maior profundidade.

Problemas para explicar o fenômeno a partir da Física Clássica

A imagem a seguir esquematiza o experimento que nos auxilia a verificar a ocorrência do efeito fotoelétrico. Nessa situação, há incidência de radiação luminosa em uma das placas (placa emissora). A depender das características da luz incidente, podemos observar a ejeção de fotoelétrons, ou seja, elétrons que são emitidos pela placa após a interação com a luz. Esses elétrons atingem a placa coletora, o que pode ser verificado a partir da

medição da intensidade da corrente elétrica indicada pelo amperímetro.

Se retomarmos a discussão do capítulo anterior, veremos que nesta época o modelo que era aceito como o mais correto para a descrição da natureza da luz era o modelo ondulatório. É neste aspecto que reside o problema para explicar o efeito fotoelétrico a partir da Física Clássica. De acordo com este modelo, esperava-se que pudessem ser verificadas experimentalmente duas observações:

1. Se aumentássemos a intensidade da luz incidente, os fotoelétrons teriam maior energia cinética mensurável.
2. Se o fenômeno não pudesse ser observado para uma determinada frequência luminosa, aumentando-se a intensidade da luz incidente, haveria um valor de intensidade mínima que permitiria a ocorrência do fenômeno.

Para compreender essa expectativa, podemos realizar uma analogia fazendo o seguinte paralelo: considere que a luz, com comportamento ondulatório, possa ser caracterizada por ondas do mar. Imagine que os elétrons emitidos sejam objetos deixados em um píer que possa ser atingido pelas ondas. De acordo com a primeira hipótese, quanto maior a intensidade da onda, maior a energia cinética com que os objetos seriam arremessados. Já de acordo com a segunda hipótese, caso uma onda não fosse intensa o suficiente para gerar alteração da energia cinética dos objetos, poderíamos observar uma onda com intensidade mínima capaz de movimentar os objetos do píer.

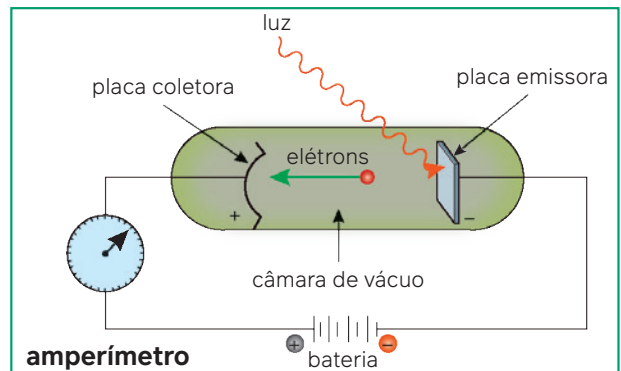
O problema foi que essas duas hipóteses oriundas da teoria clássica não puderam ser verificadas experimentalmente. Essa incompatibilidade entre teoria e observações revela que há uma **incompletude** na teoria clássica, o que a torna incapaz de explicar certos aspectos de fenômenos da natureza. Quando isso ocorre, observamos a proposição de novas teorias que sejam capazes de explicar os fenômenos em questão. As novas teorias explicativas consideradas adequadas são aquelas capazes de elucidar não só o fenômeno que colocou a teoria vigente em xeque, mas também todos os outros fenômenos anteriores explicados pela teoria original.

Em 1905, Albert Einstein publicou um artigo que propôs uma explicação para o efeito fotoelétrico e rompeu, em diversos aspectos, com a Física Clássica, promovendo, assim, uma nova interpretação para a natureza da luz, a saber:

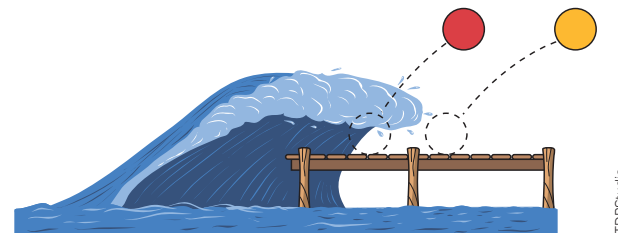
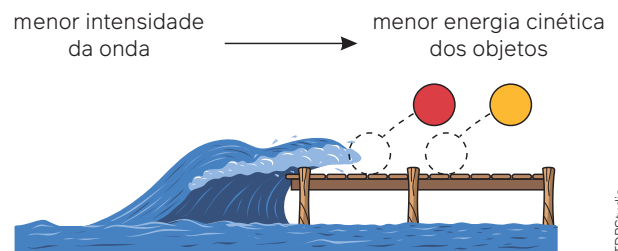
- para a descrição de tal efeito, ele retoma a interpretação corpuscular da luz;
- propõe que, além de corpuscular, a luz tem comportamento discreto, ou seja, **quantizado**;
- não contradiz a natureza ondulatória da luz para outros fenômenos, propondo um modelo dual.

Vejamos como a explicação de tal fenômeno é capaz de considerar todas essas alterações.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

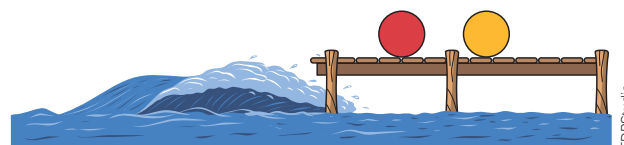


Experimento utilizado para verificar o efeito fotoelétrico.



Representação da analogia com a primeira observação.

Intensidade de onda insuficiente para alterar a energia cinética dos objetos



Intensidade de onda suficiente para alterar a energia cinética dos objetos



Representação da analogia com a segunda observação.

TDPStudio

TDPStudio

TDPStudio

TDPStudio

TDPStudio

O efeito fotoelétrico: um fenômeno quântico

O efeito fotoelétrico é um fenômeno caracterizado pela ejeção de elétrons de uma placa metálica quando ocorre incidência de radiação luminosa de determinada energia.

Einstein foi capaz de explicá-lo de forma coerente às observações experimentais quando assumiu a importância da quantização para a descrição deste fenômeno. O termo **quantização** vem da palavra *quantum*, cujo significado está relacionado à ideia de quantidade. Na Física Moderna, ele é utilizado para descrever fenômenos que não possuem natureza contínua, mas que precisam de uma descrição discreta, ou seja, caracterizado a partir de certas quantidades específicas. A Física Quântica é a área que estuda a natureza quantizada da matéria e da energia.

Para explicar o efeito fotoelétrico, Einstein propôs que a luz tinha natureza corpuscular e quantizada. Às partículas que compõem a luz damos o nome de **fótons**. Cada uma dessas partículas pode ser compreendida como portadora de um “pacote” de energia que está relacionada com a frequência f da radiação eletromagnética. Podemos calcular a quantidade de energia (E) de um fóton a partir da seguinte equação, chamada **equação de Planck-Einstein**:

$$E = h \cdot f \text{ ou } E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Na equação,

h é a constante de Planck, cujo valor é igual a $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$;

f é a frequência da radiação, fornecida em Hz (hertz ou 1/s);

c é a velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$);

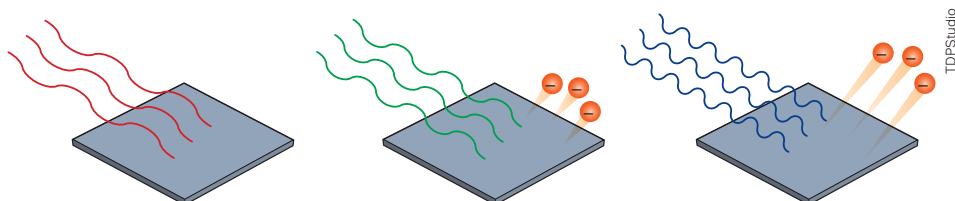
λ é o comprimento de onda da luz (m); e

E é a energia radiante, cuja unidade de medida no Sistema Internacional é o joule (J).

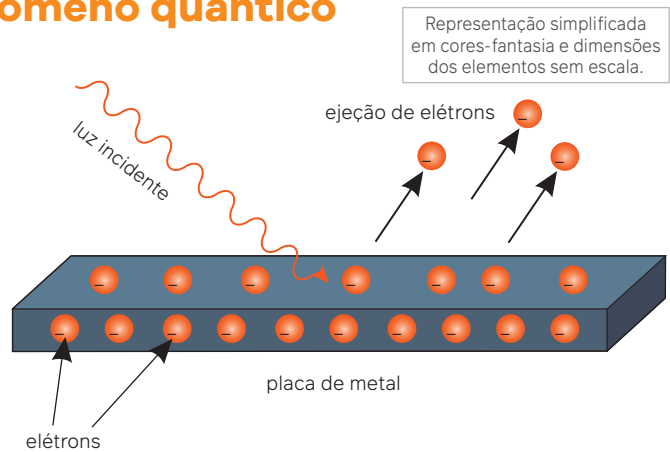
No entanto, outra unidade de medida bastante utilizada no contexto das partículas subatômicas para a energia radiante é o elétron-volt (eV) que corresponde a $1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$. Note que o valor de um elétron-volt tem ordem de grandeza muito inferior do que a ordem de grandeza de 1 joule. Assim, essa unidade de medida é utilizada por ter maior coerência com a ordem de grandeza de energia dos fenômenos que são descritos por tal equação.

Função trabalho

Um aspecto importante das observações experimentais é que nem todas as frequências eram capazes de causar a ejeção de elétrons, independentemente da intensidade da radiação incidente. Podemos relacionar essa observação à ligação dos elétrons ao material. Assim, para que um elétron possa ser ejetado de uma placa metálica deve-se fornecer energia suficiente para quebrar essa ligação do elétron com o material. Essa quantidade de energia mínima é denominada **função trabalho (U_0)**. Com isso, conseguimos explicar por que algumas frequências não são capazes de gerar o efeito fotoelétrico: elas não são capazes de vencer a função trabalho do material ao qual os elétrons estão ligados. Observe a imagem abaixo que ilustra essa questão. A radiação associada ao comprimento de onda do vermelho é incapaz de fornecer energia suficiente para vencer a função trabalho e ejetar os elétrons da placa. No caso da radiação de comprimento de onda do verde é possível observar que há ejeção dos elétrons e que a radiação violeta, além de ejetá-los, confere ainda mais energia.



Esquema das observações distintas geradas pela incidência de radiação com diferentes frequências.



Representação esquemática do efeito fotoelétrico.

Representação simplificada em cores-fantasia e dimensões dos elementos sem escala.

Equação do efeito fotoelétrico

Outro aspecto importante proposto por Einstein é: quando um elétron é ejetado, ele absorve integralmente a energia do fóton incidente. Assim, para que as energias envolvidas no processo sejam conservadas, é necessário que a quantidade de energia fornecida por um fóton (E) seja igual à soma da quantidade de energia para remover um elétron da estrutura do material (ou seja, a função trabalho (U_0)) com a energia cinética (E_c) do elétron após a ejeção. Matematicamente, podemos sintetizar esse aspecto da seguinte forma:

$$E = U_0 + E_c$$

Lembrando que a energia de um fóton é diretamente proporcional à frequência, podemos reescrever a equação como:

$$hf = U_0 + E_c \text{ ou } E_c = hf - U_0$$

em que
 h é a constante de Planck,
 f é a frequência da radiação

Nesse formato, a equação é conhecida como **equação do efeito fotoelétrico**.

Esta equação nos diz que a ejeção de cada elétron é um evento microscópico em que um elétron absorve um fóton e deixa a superfície metálica. Além disso, o valor da energia cinética denotado na equação é o valor máximo da energia cinética que o elétron pode atingir. Experimentalmente, o valor mensurado para essa energia pode ser menor, pois pode ser dissipada devido às colisões, por exemplo.

A partir dessa equação, podemos evidenciar o comportamento das variáveis pelo gráfico da energia cinética dos elétrons ejetados (E_c) em função da frequência da radiação luminosa incidente (f) em uma célula fotoelétrica.

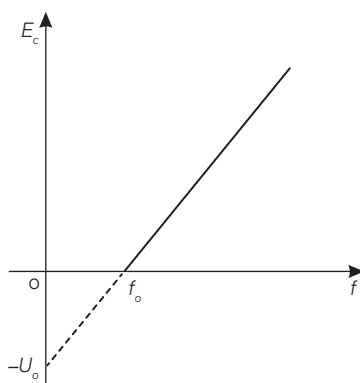


Gráfico que demonstra a energia cinética dos elétrons em função da frequência da radiação incidente para determinada célula fotoelétrica.

No gráfico, identificamos duas grandezas relevantes:

1. f_0 é a **frequência de corte**, ou seja, a frequência mínima em que se observa o efeito fotoelétrico nessa célula; nessa situação, o elétron é ejetado, mas sua energia cinética é nula;
2. o trecho tracejado indica as frequências que não são suficientes para vencer a função trabalho do material, ou seja, abaixo da frequência de corte, não observamos ejeção dos elétrons, uma vez que, para $f = 0$, teremos $E_c = -U_0$.

Se liga

Note como a explicação do efeito fotoelétrico permite a explicação da natureza **dual** da luz. Antes de interagir com a matéria, a luz pode ser interpretada de maneira ondulatória, podendo sofrer difração ou interferência, como já vimos no capítulo anterior. No entanto, quando desejamos explicar como essa radiação interage com a matéria, precisamos da interpretação corpuscular da luz. Ou seja, é válido assumirmos o comportamento dual: há fenômenos que apenas conseguimos explicar de maneira ondulatória e há fenômenos que apenas conseguimos explicar se assumirmos o modelo corpuscular.

Potencial de corte

Vimos que, para cada valor de frequência, conseguimos associar a emissão de um elétron a uma determinada energia cinética. No entanto, podemos também definir outra grandeza, que descreve qual é o potencial elétrico necessário para impedir a saída dos elétrons. A esse potencial elétrico damos o nome de **potencial de corte** ou **potencial de parada** (V_c). Matematicamente, podemos dizer que:

$$E_{c(\text{máx.})} = e \cdot V_c$$

Nessa expressão,
 $E_{c(\text{máx.})}$ é a energia cinética máxima do elétron;
 e é a carga do elétron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C);
 V_c é o potencial de corte.

O gráfico a seguir indica como a intensidade da corrente detectada pelo efeito fotoelétrico depende da tensão para diferentes intensidades luminosas. Note que o potencial de corte é o mesmo em ambos os casos. Isso acontece porque essa variável não depende da corrente, mas apenas da energia cinética máxima dos elétrons emitidos.

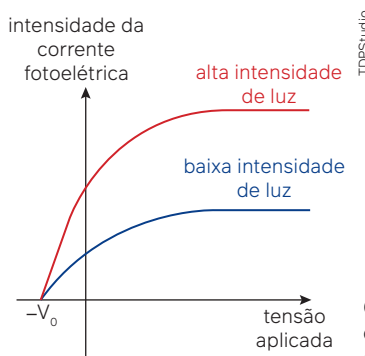
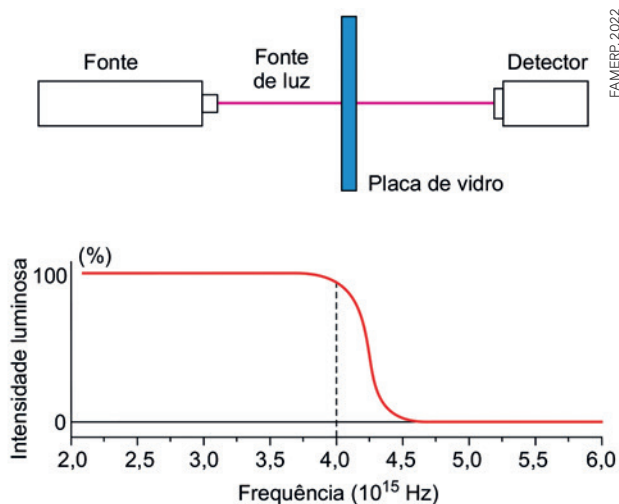


Gráfico que demonstra a intensidade da corrente fotoelétrica em função da tensão aplicada.

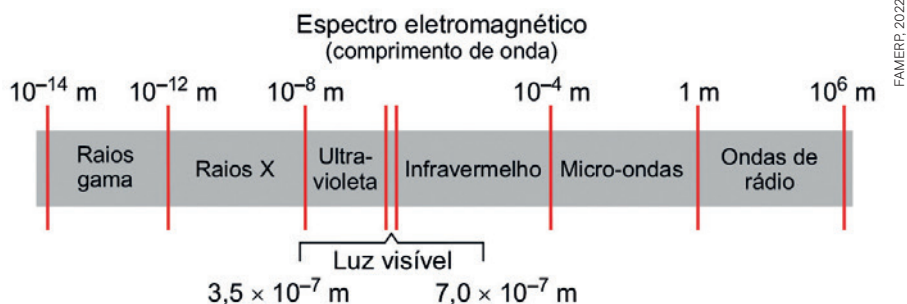
Com essa explicação para o efeito fotoelétrico, foi possível resolver a inconsistência que havia entre a teoria clássica e as observações experimentais, uma vez que a suposição de um modelo corpuscular e quantizado para o fenômeno permite descrever os resultados obtidos por meio do experimento. Para isso, foi necessário aceitar a natureza dual da luz.

Atividades comentadas

- (Famerp-SP – 2022) A transparência de um material depende da frequência da luz que incide sobre ele. Na figura, à esquerda, está representada uma fonte que emite um feixe de luz de intensidade constante e frequência variável. O feixe incide sobre uma placa de vidro e pode ser transmitido para o outro lado da placa chegando a um detector. O gráfico da intensidade luminosa, recebida pelo detector, em função da frequência da luz, está representado no lado direito da figura. Considere a velocidade da luz como sendo $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.



- a) Considerando a linha vertical tracejada no gráfico da intensidade luminosa, a partir de qual comprimento de onda da luz, em metros, a placa de vidro começa a ser opaca? A que região do espectro eletromagnético, representado abaixo, a luz com esse comprimento de onda pertence?



Resolução:

Observando o gráfico de intensidade luminosa em função da frequência incidente, vemos que a intensidade luminosa coletada cai a valores próximos de zero para frequências a partir de $4,5 \cdot 10^{15}$ Hz. Convertendo esse valor para comprimento de onda, temos:

$$c = \lambda \cdot f \Rightarrow 3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 4,5 \cdot 10^{15}$$

$$\therefore \lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{4,5 \cdot 10^{15}} = 6,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

Esse comprimento de onda corresponde ao ultravioleta.

- b) Para se ionizar um átomo de argônio no estado fundamental, ou seja, remover um elétron de sua última camada de energia, é necessária uma energia mínima de $2,5 \cdot 10^{-18}$ J. Utilizando a relação de Planck-Einstein, $E_{\text{fóton}} = hf$, onde $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg/s}$ e f é a frequência, se um elétron for removido do átomo de argônio ao absorver um fóton com frequência de $4 \cdot 10^{15}$ Hz, qual será sua energia cinética, ou seja, a energia restante, em joules, após a ionização?

Resolução:

Pela equação de Planck-Einstein para a descrição do efeito fotoelétrico, temos:

$$hf = U_o + E_c$$

Então:

$$6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 4 \cdot 10^{15} = 2,5 \cdot 10^{-18} + E_c$$

$$E_c = 26,4 \cdot 10^{-19} - 2,5 \cdot 10^{-19} \Rightarrow E_c = 1,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Os elétrons ejetados do argônio saem com uma energia cinética residual de $1,4 \cdot 10^{-19}$ J.

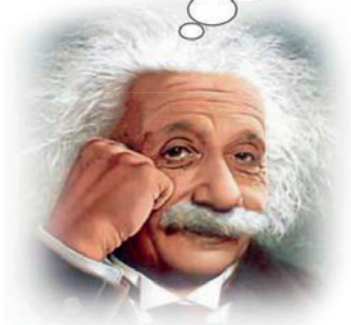
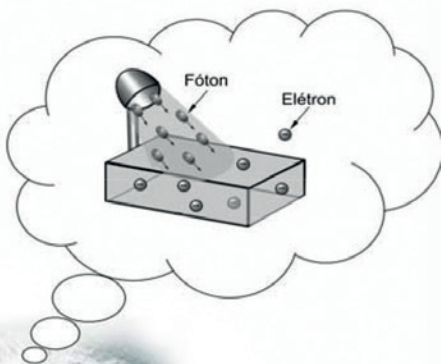
Atividades propostas



- (UFRGS – 2015) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem.
A incidência de radiação eletromagnética sobre uma superfície metálica pode arrancar elétrons dessa superfície. O fenômeno é conhecido como só pode ser explicado satisfatoriamente invocando a natureza da luz.
 - efeito fotoelétrico - ondulatória
 - efeito Coulomb - corpuscular
 - efeito Joule - corpuscular
 - efeito fotoelétrico - corpuscular
 - efeito Coulomb - ondulatória

2. (Enem – 2013) Quando a luz branca incide em uma superfície metálica, são removidos elétrons desse material. Esse efeito é utilizado no acendimento automático das luzes nos postes de iluminação, na abertura automática das portas, no fotômetro fotográfico e em sistemas de alarme. Esse efeito pode ser usado para fazer a transformação de energia
- nuclear para cinética.
 - elétrica para radiante.
 - térmica para química.
 - radiante para cinética.
 - potencial para cinética.
3. (UniEva-GO – 2015) É comum, em grandes centros comerciais, o uso de portas automáticas em suas principais entradas. Essa abertura automática das portas está baseada no
- efeito Compton.
 - experimento de Ohm.
 - experimento de Joule-Thompson.
 - efeito fotoelétrico.
4. (UFRGS – 2012) Em 1905, Einstein propôs uma teoria simples e revolucionária para explicar o efeito fotoelétrico, a qual considera que a luz é constituída por partículas sem massa, chamadas de fótons. Cada fóton carrega uma energia dada por hf , onde $h = 4,1 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ é a constante de Planck, e f é a frequência da luz. Einstein relacionou a energia cinética, E , com que o elétron emerge da superfície do material, à frequência da luz incidente sobre ele e à função trabalho, W , através da equação $E = hf - W$. A função trabalho W corresponde à energia necessária para um elétron ser ejetado do material.

UFRGS, 2012



Em uma experiência realizada com os elementos Potássio (K), Chumbo (P_b) e Platina (P_t), deseja-se obter o efeito fotoelétrico fazendo incidir radiação eletromagnética de mesma frequência sobre cada um desses elementos. Dado que os valores da função trabalho para esses elementos são $W_K = 2,1 \text{ eV}$, $W_{P_b} = 4,1 \text{ eV}$ e $W_{P_t} = 6,3 \text{ eV}$, é correto afirmar que o efeito fotoelétrico será observado, nos três elementos, na frequência

- $1,2 \times 10^{14} \text{ Hz}$.
 - $3,1 \times 10^{14} \text{ Hz}$.
 - $5,4 \times 10^{14} \text{ Hz}$.
 - $1,0 \times 10^{15} \text{ Hz}$.
 - $1,6 \times 10^{15} \text{ Hz}$.
5. Considere que um feixe de luz monocromático, cujo comprimento de onda é de 410 nm, incide em uma placa metálica cuja função trabalho vale 2 eV. Nessa situação, qual deve ser a energia cinética dos elétrons que são ejetados da placa após a incidência da luz? Considere que a constante de Planck seja aproximadamente $4,1 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$.
6. (UEL-PR – 2014) Uma das contribuições da Física para o bem-estar e a segurança nas cidades é o constante avanço tecnológico aplicado à iluminação pública. Parte das luminárias do século XIX era acesa manualmente por várias pessoas ao entardecer. Hoje, o acionamento das lâmpadas tornou-se automático devido à aplicação dos conhecimentos sobre o efeito fotoelétrico (descrito por Albert Einstein, em 1905) e ao desenvolvimento das células fotoelétricas instaladas nos postes de iluminação pública, capazes de detectar a presença de luz natural.

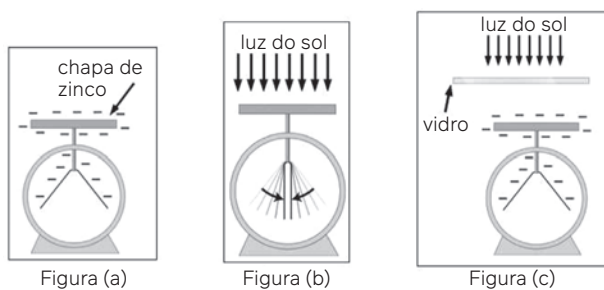
Sobre o efeito fotoelétrico, considere as afirmativas a seguir.

- Consiste na emissão de elétrons de uma superfície metálica quando esta é iluminada com luz de determinada frequência.
- Ocorre independentemente da frequência da luz incidente na superfície do metal, mas é dependente de sua intensidade.
- Os elétrons ejetados de uma superfície metálica, devido ao efeito fotoelétrico, possuem energia cinética igual à energia do fóton incidente.
- Por mais intensa que seja a luz incidente, não haverá ejeção de elétrons enquanto sua frequência for menor que a frequência limite (ou de corte) do metal.

Assinale a alternativa correta.

- Somente as afirmativas I e II são corretas.
- Somente as afirmativas I e IV são corretas.
- Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
- Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

7. (UFJF-MG – 2019) Um eletroscópio pode ser construído por duas tiras de metal suspensas por uma pequena haste de metal em um invólucro eletricamente isolante. A haste é conectada a uma chapa de zinco no topo do invólucro. Quando a chapa de zinco é carregada negativamente por uma fonte externa, as tiras se afastam uma da outra, conforme a Figura (a). Se, nesta situação, você iluminar o zinco com a luz do sol, o zinco e o eletroscópio serão descarregados, e as abas do eletroscópio irão se juntar novamente, conforme a Figura (b). Se, por outro lado, colocarmos um pedaço de vidro acima do zinco e iluminarmos o eletroscópio com a luz do sol passando pelo vidro antes de atingir o zinco, nada acontecerá, mesmo com o eletroscópio e o zinco inicialmente carregados negativamente, conforme mostra a Figura (c). Dentre as alternativas abaixo, qual delas explica corretamente o resultado mostrado na Figura (c)?



- a) O vidro bloqueia luz ultravioleta, cujos fótons possuem energia maior do que a função trabalho do zinco.
- b) O vidro bloqueia luz infravermelha, parte do espectro do sol com fótons mais energéticos, responsáveis pela emissão dos elétrons em excesso do zinco.
- c) O vidro reduz a intensidade da luz total que incide no zinco, implicando em uma quantidade de energia menor do que a função trabalho do zinco.
- d) Quando a luz do sol incide na placa de vidro, pelo efeito fotoelétrico, elétrons são ejetados, e esta placa fica carregada. Isto impede que elétrons em excesso do eletroscópio também sejam ejetados.
- e) A placa de vidro é isolante, impedindo a ejeção dos elétrons em excesso do zinco.
8. (UFSM-RS – 2012) À medida que a tecnologia invadiu os meios de produção, a obra de arte deixou de ser o resultado exclusivo do trabalho das mãos do artista, por exemplo, a fotografia. Uma vez obtido o negativo, muitas cópias da mesma foto podem ser impressas. O elemento essencial de uma fotocopiadora é um cilindro eletrizado que perde eletrização, por efeito fotoelétrico, nas regiões em que incide luz. Então,

- I. o efeito fotoelétrico só pode ser entendido em termos de um modelo corpuscular para a radiação eletromagnética.
- II. o número de elétrons arrancados de uma placa metálica pelo efeito fotoelétrico cresce com o aumento da intensidade da radiação eletromagnética que atinge a placa.
- III. a energia máxima dos elétrons arrancados de uma placa metálica pelo efeito fotoelétrico cresce com o aumento da intensidade da radiação eletromagnética que atinge a placa.

Está(ão) correta(s)

- a) apenas I.
- b) apenas II.
- c) apenas III.
- d) apenas I e II.
- e) I, II e III.

9. (Udesc – 2015) Considere as informações constantes na tabela.

Metais	Função Trabalho (eV)
Alumínio	4,08
Prata	4,73
Platina	6,35
Níquel	5,01

Com base na tabela e no princípio da conservação da energia para o efeito fotoelétrico, analise as proposições.

- I. Quatro placas metálicas, cada uma composta por um dos metais relacionados na tabela, são iluminadas por uma luz de frequência f . Nesta situação, a energia cinética mínima dos elétrons ejetados de cada placa possui o mesmo valor.
- II. Quatro placas metálicas, cada uma composta por um dos metais relacionados na tabela, somente ejetarão elétrons com energia cinética maior que zero, quando a energia da luz que as ilumina for maior que o valor da função trabalho de cada metal.
- III. Quatro placas metálicas, cada uma composta por um dos metais relacionados na tabela, são iluminadas por uma luz de energia igual a 7,5 eV. Neste caso, os elétrons ejetados da superfície da placa de alumínio terão a maior energia cinética.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- c) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- d) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

O que é o Prêmio Nobel?

O Prêmio Nobel é considerado um dos maiores reconhecimentos acadêmicos atuais para as áreas da Física, Química, Literatura, Paz e Medicina ou Fisiologia. A concessão desse prêmio é um reconhecimento de instituições norueguesas e suecas às produções de diferentes cientistas cujos trabalhos tenham um impacto fundamental para o conhecimento da humanidade.

As cerimônias desta premiação tiveram início em 1901, a partir do desejo do cientista alemão Alfred Nobel (1833-1896). Ele doou, em seu testamento, a maior parte de sua fortuna para a criação deste prêmio e para a criação da instituição que o coordena, a Fundação Prêmio Nobel.

A seguir, você pode encontrar um trecho do testamento de Alfred Nobel, no qual o cientista descreve como parte de sua fortuna deveria ser direcionada a essa premiação:

[...]

Todos os meus restantes ativos realizáveis serão desembolsados da seguinte forma: o capital, convertido em títulos seguros pelos meus executores, constituirá um fundo, cujos juros serão distribuídos anualmente como prêmios àqueles que, durante o ano anterior, conferiram o maior benefício à humanidade. Os juros serão divididos em cinco partes iguais e distribuídos da seguinte forma: uma parte para quem fez a descoberta ou invenção mais importante no campo da Física; uma parte para a pessoa que fez a descoberta ou melhoria química mais importante; uma parte para a pessoa que fez a descoberta mais importante no domínio da Fisiologia ou da Medicina; uma parte para quem, no campo da literatura, produziu a obra mais destacada no sentido idealista; e uma parte para a pessoa que fez mais ou melhor para promover o companheirismo entre as nações, a abolição ou redução de exércitos permanentes e o estabelecimento e promoção de congressos de paz. Os prêmios de Física e Química serão atribuídos pela Academia Sueca de Ciências; aquele para realizações fisiológicas ou médicas pelo Instituto Karolinska em Estocolmo; o de literatura pela Academia de Estocolmo; e aquele para os campeões da paz por um comitê de cinco pessoas a serem selecionadas pelo Storting Norueguês. É meu desejo expresso que, na atribuição dos prêmios, não seja dada qualquer consideração à nacionalidade, mas que o prêmio seja atribuído à pessoa mais digna, seja ela escandinava ou não.

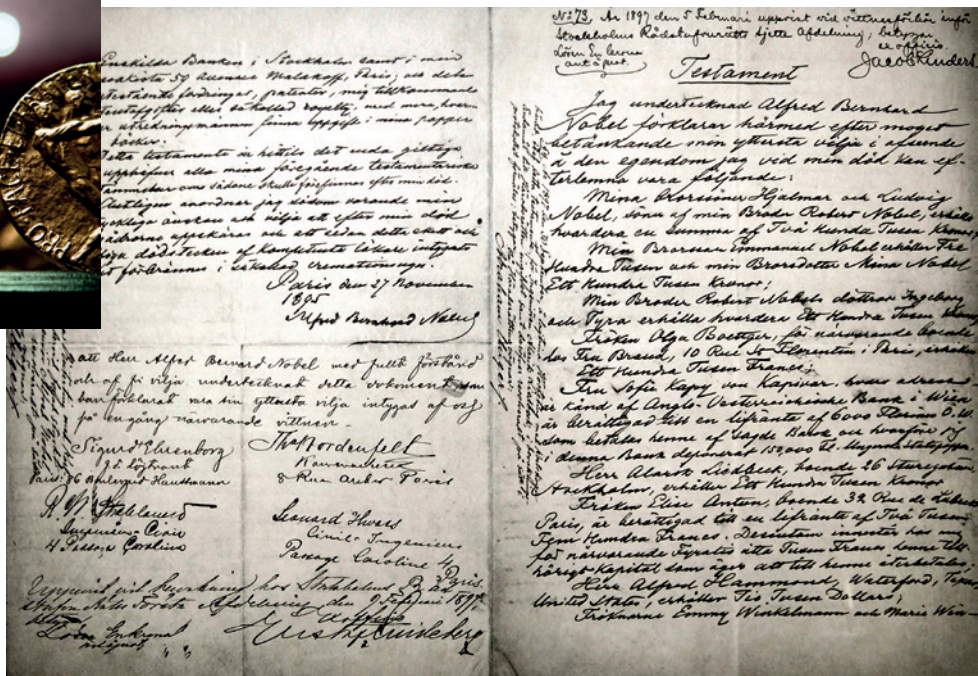
[...]

NOBEL, A. B. Alfred Nobel's will. *The Nobel Prize*, Estocolmo, 2018. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/alfred-nobel/full-text-of-alfred-nobels-will-2>. Acesso em: 22 ago. 2024. (Tradução nossa).

Jeppu Gustafsson/Shutterstock.com



Cópia das medalhas Nobel na mansão de Bjorkborn, moradia de Alfred Nobel até sua morte, em 1896.



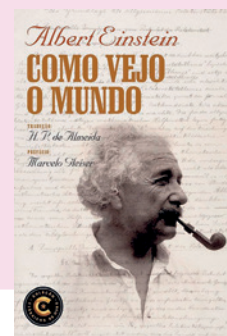
Trechos do testamento de Alfred Nobel.

The Picture Art Collection/Alamy/Fotorena

#FicaADica

Como vejo o mundo, de Albert Einstein (Nova Fronteira, 2017).

Essa obra é voltada a aqueles que desejam saber um pouco mais sobre a vida de Einstein e sua forma de compreender o mundo. Neste livro, escrito pelo próprio Einstein, o autor disserta sobre diversos temas, como o sentido da vida, a moral, a religião e a relação entre guerra e paz. É uma obra que permite conhecer um pouco mais sobre o modo de pensar de um dos físicos mais reconhecidos da história. O livro apresenta linguagem acessível e permite refletir sobre questionamentos que fazem parte da natureza humana.



Editora Nova Fronteira

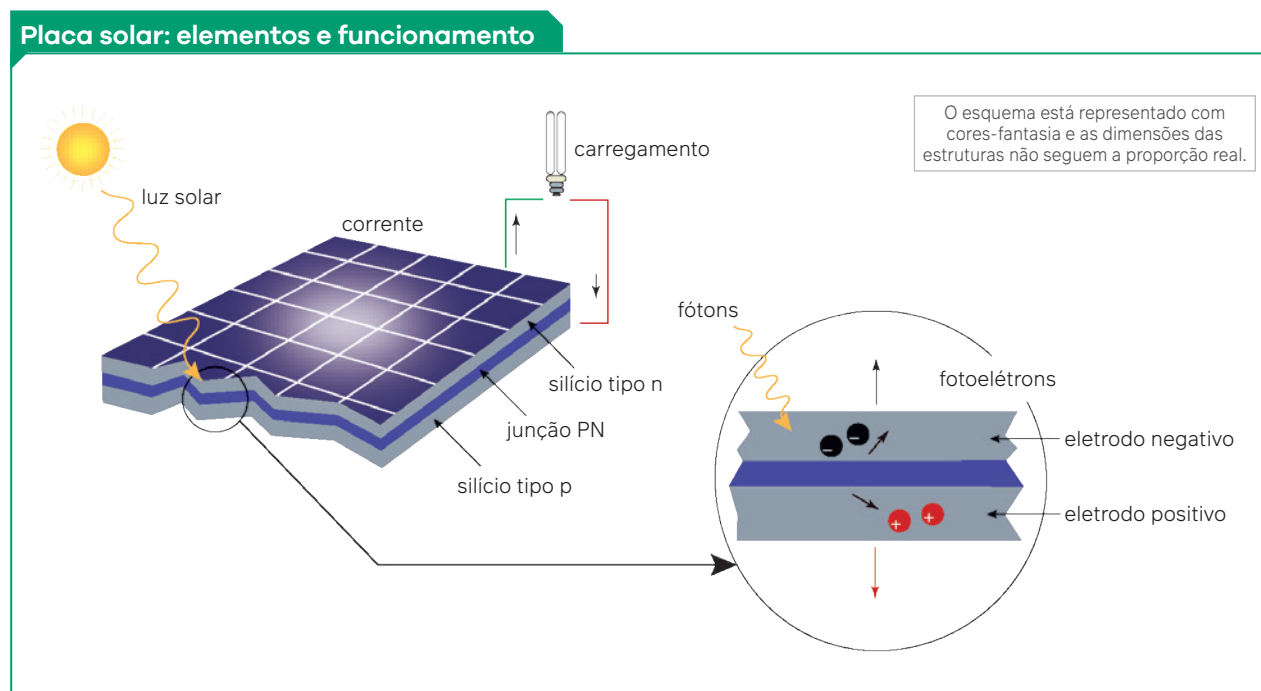
Aplicações do efeito fotoelétrico

Vimos que a compreensão do efeito fotoelétrico tem uma importância fundamental para a Física. Agora, vamos analisar algumas importantes aplicações tecnológicas que fazem o uso intencional deste efeito.

Células fotovoltaicas

Na Unidade 4 falamos sobre as diferentes formas de geração de energia e estudamos a indução eletromagnética como o fenômeno físico que rege quase todos os tipos de usinas que estudamos. No entanto, mencionamos que as únicas usinas que utilizam um princípio diferente são as usinas solares. Essas são capazes de gerar energia a partir de uma aplicação tecnológica do efeito fotoelétrico: as células fotovoltaicas.

As placas solares são construídas por materiais metálicos que sofrem efeito fotoelétrico a partir da incidência da radiação luminosa solar. Com a incidência da radiação, observamos a ejeção de elétrons dessas placas, o que promove uma corrente elétrica, que será utilizada como energia elétrica. O uso dessas placas para a geração de energia é visto como um dos caminhos para a busca pela geração de energia elétrica mais limpa e sustentável. Essas placas possuem a vantagem de utilizar a energia proveniente do Sol para a geração da energia, o que se considera, portanto, renovável. Apesar disso, vale considerar que essas placas exigem muito espaço para a instalação, o que pode ser maléfico a depender da região em que forem instaladas, pois podem acarretar a modificação da estrutura do local, alterando a dinâmica natural da fauna e da flora, além de poder provocar o deslocamento de populações que vivem na região.



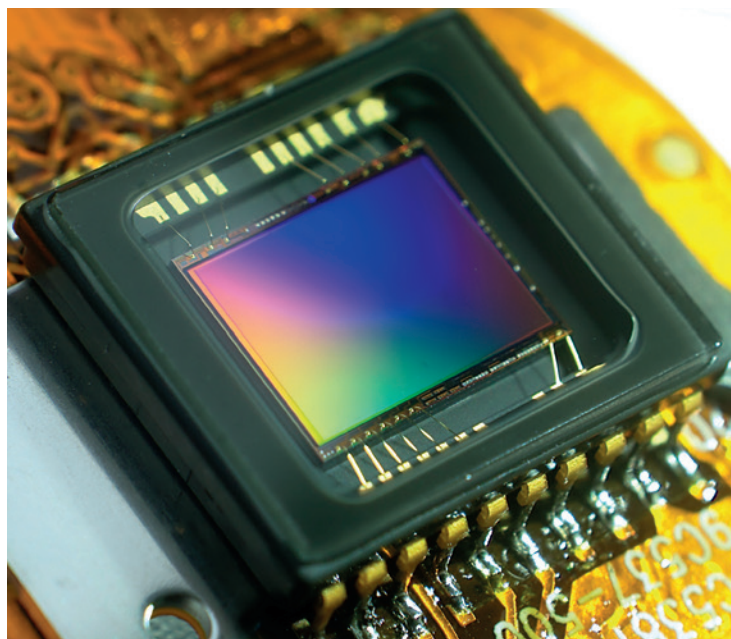
TDPSstudio

Representação esquemática do processo de conversão de energia solar em energia elétrica através de uma célula fotovoltaica.

Câmeras digitais

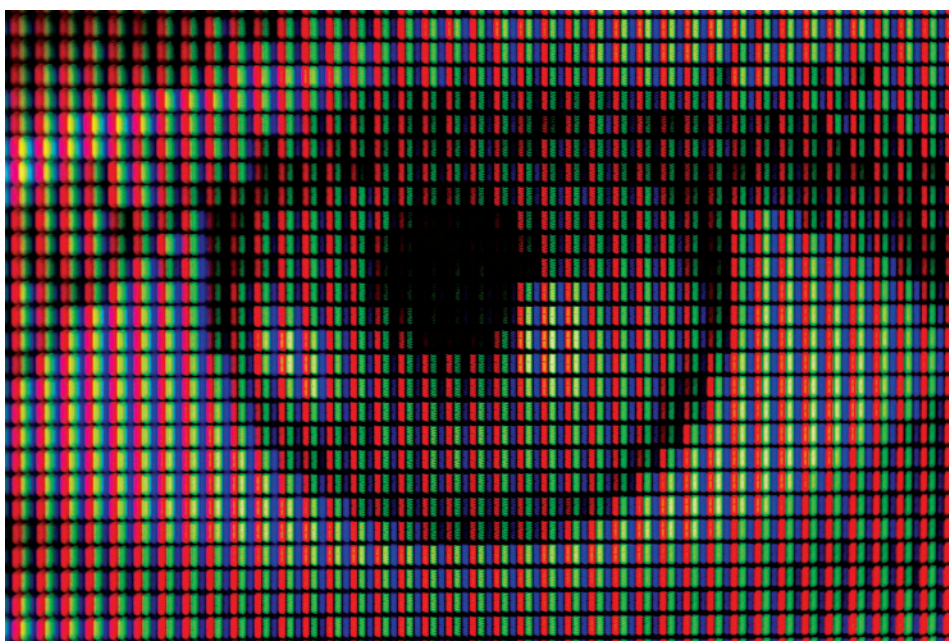
Outra aplicação tecnológica do efeito fotoelétrico está relacionada à captação e ao armazenamento de imagens, por meio de um dispositivo que converte sinais luminosos em sinais elétricos. O nome CCR vem do inglês *Charge-Coupled Device*, que pode ser traduzido como dispositivo de carga acoplada. Esses dispositivos são compostos de alguns sensores fotoelétricos de material semicondutor distribuídos em linhas e colunas, como uma matriz. Cada elemento dessa matriz é chamado de *pixel*. Dispositivos com maior quantidade de *pixels* possuem maior qualidade de imagem: quanto maior a quantidade de *pixels*, maior será a quantidade de sensores captando o sinal luminoso e convertendo em elétrico, portanto, maior será a nitidez da imagem.

O efeito fotoelétrico opera nesses dispositivos da seguinte maneira: após a luz passar pelo conjunto das lentes do aparelho fotográfico, o sinal luminoso será convertido em um sinal elétrico a partir do sensor fotoelétrico. Esse sinal elétrico, por sua vez, será armazenado pelo dispositivo e será interpretado posteriormente como uma imagem quando conjugado com os outros sinais captados.



domjaves/Shutterstock.com

Disposição matricial dos *pixels* em um dispositivo de carga acoplada.



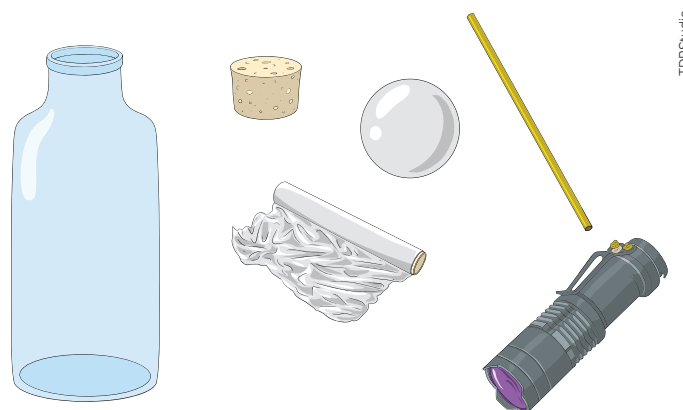
maurobeltran/Shutterstock.com

Representação visual dos *pixels*.

Eletroscópio e o efeito fotoelétrico

Material:

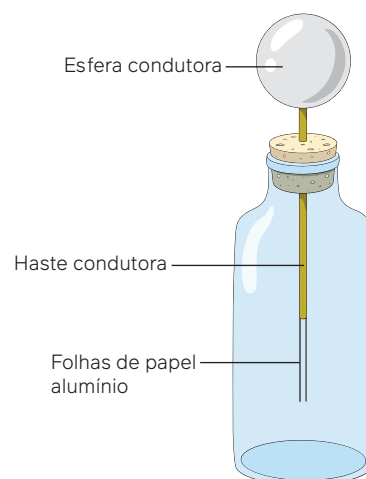
- esfera metálica capaz de conduzir eletricidade;
- garrafa transparente;
- material isolante que sirva para tampar a garrafa e fixar a esfera metálica;
- folha de papel-alumínio;
- haste metálica condutora que servirá de conexão entre a esfera metálica e o papel-alumínio;
- lanterna com luz ultravioleta.



TDPStudio

Procedimento

1. Com os cinco primeiros materiais indicados, construa um eletroscópio semelhante ao da imagem a seguir.
2. Aproxime um material eletrizado da esfera. Note que ocorrerá a separação das folhas de alumínio que estão dentro da garrafa. Isso acontece porque a carga elétrica induzida nessas folhas, após a aproximação do material eletrizado, é a mesma, causando a repulsão entre elas.
3. Aproxime o eletroscópio da lâmpada com luz ultravioleta.



TDPStudio

Trocando ideias

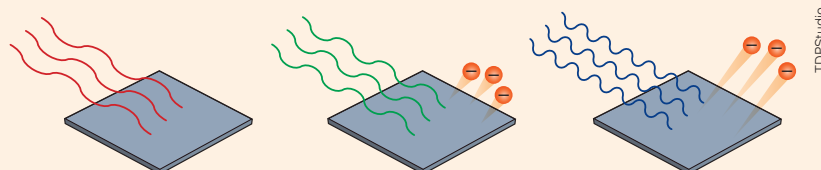
1. Observe o que acontece quando o passo 3, mencionado no tópico **Procedimento**, é realizado. Registre sua observação na forma de desenho ou com um desenho e escreva o que observou.
2. Explique por que isso ocorre.

Recapitule

Neste capítulo fomos capazes de analisar a relevância do efeito fotoelétrico para o desenvolvimento da Física Moderna, bem como suas aplicações tecnológicas que utilizamos cotidianamente.

Vimos que esse fenômeno pode ser explicado integralmente quando utilizamos tanto a interpretação da natureza corpuscular da luz quanto a quantização da radiação. Posteriormente, estudamos a equação proposta por Einstein para a descrição do efeito fotoelétrico, que depende da frequência da radiação incidente, e que nos revela aspectos da energia cinética dos elétrons ejetados e a função trabalho necessária para arrancar um elétron de uma estrutura metálica.

Analisamos particularmente algumas aplicações importantes do efeito fotoelétrico, tais como a iluminação das ruas, a captação e o armazenamento de imagens digitais, bem como as células fotovoltaicas.

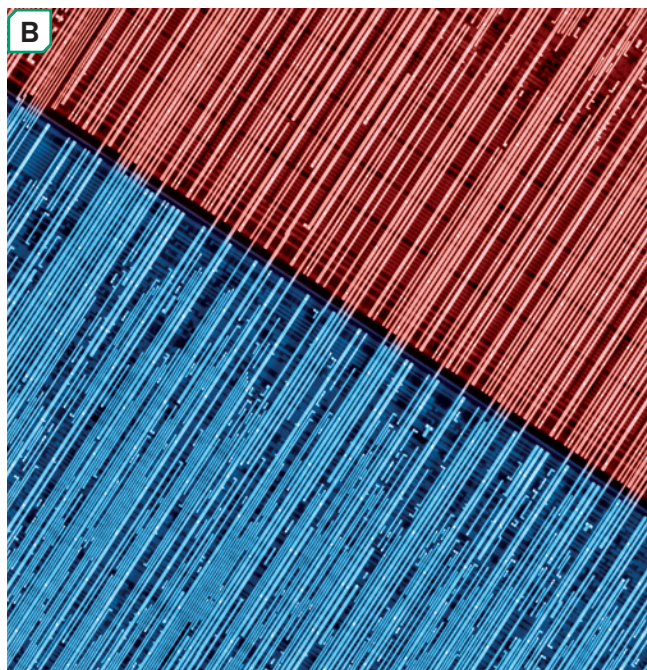


TDPStudio

Aplicações tecnológicas da Física Moderna



keonsiri boonnak/Shutterstock.com



Intothelght Photography/Shutterstock.com

A aplicação de conceitos relacionados à Física Moderna possibilita o desenvolvimento de tecnologias amplamente utilizadas no cotidiano, como as telas sensíveis ao toque (A), além de proporcionar a observação de estruturas muito pequenas, na ordem de grandeza de nanômetros, como as camadas de um *chip* de microeletrônica (B), vistas em microscópios eletrônicos de varredura.

Para refletir

1. O que é pesquisa básica e pesquisa aplicada? Qual é a importância de cada uma?
2. Como o conhecimento acerca do mundo microscópico pode auxiliar no desenvolvimento de novas tecnologias?
3. Você já tentou tocar nos ícones de telas do celular quando estava com luva ou com algum outro material, como a tampa de uma caneta? O que aconteceu quando fez isso?
4. Qual é a diferença entre um microscópio eletrônico e um convencional?

Objetivos do capítulo

- Compreender a diferença entre pesquisa básica e pesquisa aplicada e reconhecer a importância de cada uma.
- Identificar a existência de diferentes tipos de sensores utilizados na produção de telas sensíveis ao toque e explicar o funcionamento desses equipamentos.
- Identificar a existência de diferentes tipos de microscópios eletrônicos e explicar o funcionamento desses equipamentos.
- Relacionar o funcionamento dos microscópios eletrônicos com fenômenos e princípios explicados pela Física Moderna.
- Reconhecer a importância dos microscópios eletrônicos para o desenvolvimento de diversas áreas do conhecimento.

Pesquisa básica e pesquisa aplicada

Quando começamos a falar sobre a Física Moderna e os assuntos discutidos nesta área, uma das primeiras diferenças que observamos entre esse campo e outros da Física é o estranhamento gerado a partir da análise do mundo microscópico e das particularidades que ele nos revela. No entanto, apesar de o estudo desse mundo nos revelar estranhezas, ele nos apresenta novas facetas do conhecimento que resultam em um novo olhar do mundo macroscópico. É importante ressaltar que analisaremos o desenvolvimento de equipamentos tecnológicos, como as telas sensíveis ao toque e o microscópio eletrônico, portanto, discutiremos assuntos associados à Óptica, ao Eletromagnetismo, além da Física Moderna, que nos ajudará a compreender o aprimoramento de tecnologias e aparatos já existentes. Para isso, é importante compreendermos a diferença entre a pesquisa básica e a aplicada e analisarmos qual é a relevância de cada uma delas.

Enquanto estudava sobre a natureza da luz, você pode ter se perguntado: “Afim, por que esses cientistas ficaram discutindo por tanto tempo para tentar classificar a luz como onda ou como partícula?” ou, ainda, “Por que seria relevante entender a natureza da luz e da matéria? Quais são as implicações de todo esse estudo?”. Perguntas como essas, muitas vezes revelam uma visão de mundo que entende que todo o conhecimento deve ter uma aplicação direta. Apesar de as aplicações serem relevantes, a produção de conhecimento não está restrita apenas a isso. Nem tudo o que sabemos em Física é utilizado de maneira prática. Portanto, nem todos os conhecimentos são gerados para serem utilizados cotidianamente e aplicados em tecnologias ou equipamentos, mas, sim, para aprimorar teorias e conhecimentos anteriores.

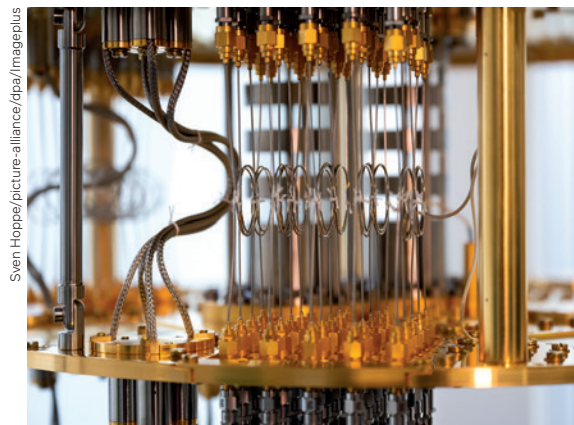
Podemos compreender a **pesquisa básica** (ou pesquisa pura, ou, ainda, pesquisa fundamental) como o estudo científico que visa aprimorar o conhecimento, seja pela proposição de novas teorias, seja pelo aperfeiçoamento das já existentes. Vale mencionar que o termo “básica” não se refere à simplicidade ou facilidade, mas às características dessa pesquisa de ser fundamental, de servir como base para a produção do conhecimento. Neste sentido, esse tipo de pesquisa tem uma preocupação que se fecha no próprio conhecimento, sem a necessidade de ter uma aplicação imediata do que foi produzido.

Já a **pesquisa aplicada** é aquela que tem como foco a aplicação de um conhecimento científico de maneira prática, isto é, com implementação imediata, visando solucionar problemas específicos e bem delimitados. Assim, ao contrário da pesquisa básica, a aplicada não se fecha no próprio conhecimento, mas o utiliza para solucionar os problemas práticos a que se propõe.

Um contraponto entre essas duas áreas é que a pesquisa básica costuma ter uma característica mais generalista, ou seja, a princípio, as novas teorias e conceitos gerados podem ser aplicados para a explicação de um fenômeno que não depende de fatores locais e, caso dependa, a teoria é capaz de dizer quais são as especificidades de cada situação. A pesquisa aplicada, por outro lado, costuma ser mais específica em suas proposições, embora possa ser adaptada para diferentes casos.

Vamos compreender a diferença entre elas a partir de exemplos de situações já estudadas. No capítulo anterior, exploramos o efeito fotoelétrico. Podemos dizer que o trabalho de Einstein e de outros cientistas envolvidos para a descrição teórica desse efeito é fruto da pesquisa básica em Física. Já as aplicações estudadas, como os sensores dos postes de iluminação e as células fotovoltaicas, são oriundas da pesquisa aplicada. Note como a descrição do efeito fotoelétrico está fechada no próprio conhecimento: um dos questionamentos iniciais era explicar algumas das observações contraditórias da teoria clássica decorrentes do experimento de Hertz, quando ele analisava as ondas eletromagnéticas. Como decorrência da descrição do efeito fotoelétrico de maneira quantizada, uma das implicações foi a proposição da natureza dual da luz. Em nenhum momento, a busca pela explicação do fenômeno tinha como objetivo as aplicações tecnológicas que ele poderia gerar, o que caracteriza esse tipo de pesquisa como pesquisa básica. Em contrapartida, as células fotovoltaicas e os sensores foram tecnologias criadas justamente como uma aplicação técnica proveniente desse fenômeno, visando melhorar aspectos da vida cotidiana a partir, por exemplo, da geração de energia renovável e da automatização da iluminação pública.

Neste capítulo, vamos estudar aplicações que são decorrentes da pesquisa aplicada, buscando compreender quais conhecimentos da pesquisa básica foram mobilizados para que essas tecnologias fossem possíveis do ponto de vista teórico, bem como quais são as implicações da existência desses equipamentos para o dia a dia. Faremos isso buscando analisar as escalas que variam entre a ordem de grandeza do nanômetro (10^{-9}) e do micrometro (10^{-6}), também veremos como alguns conhecimentos da pesquisa básica em Física Moderna propiciaram o desenvolvimento e o aprimoramento de algumas dessas tecnologias.



Detalhe do sistema de resfriamento criogênico de um computador quântico em desenvolvimento no Leibniz Computing Center. O computador quântico é um dispositivo em desenvolvimento por meio da pesquisa básica que, futuramente, será utilizado para pesquisa aplicada.

Telas sensíveis ao toque

As telas sensíveis ao toque ou *touchscreen*, do inglês, são telas utilizadas em diversos aparelhos eletrônicos, que são capazes de identificar que houve um toque em uma certa região da tela, interpretar essa informação e executar alguma funcionalidade a partir dela. Essas telas começaram a se popularizar na década de 1990, principalmente devido aos PDAs – sigla do inglês: *Personal Digital Assistant* (Assistente Pessoal Digital, aparelhos que funcionavam como organizadores eletrônicos, permitindo gerenciar informações como agenda, contatos e listas. Eles foram descontinuados após o surgimento e massificação dos smartphones, que cumprem essas e outras funções.) –, mas ficaram populares na primeira década dos anos 2000, após o lançamento do primeiro *smartphone* com tela sensível ao toque, em 2007, o que trouxe maior acessibilidade aos aparelhos eletrônicos. Atualmente, esse tipo de tela está presente em praticamente todos os celulares, mas também é utilizada em outros aparelhos como videogames, totems de compra em lojas, *tablets*, *notebooks* etc.

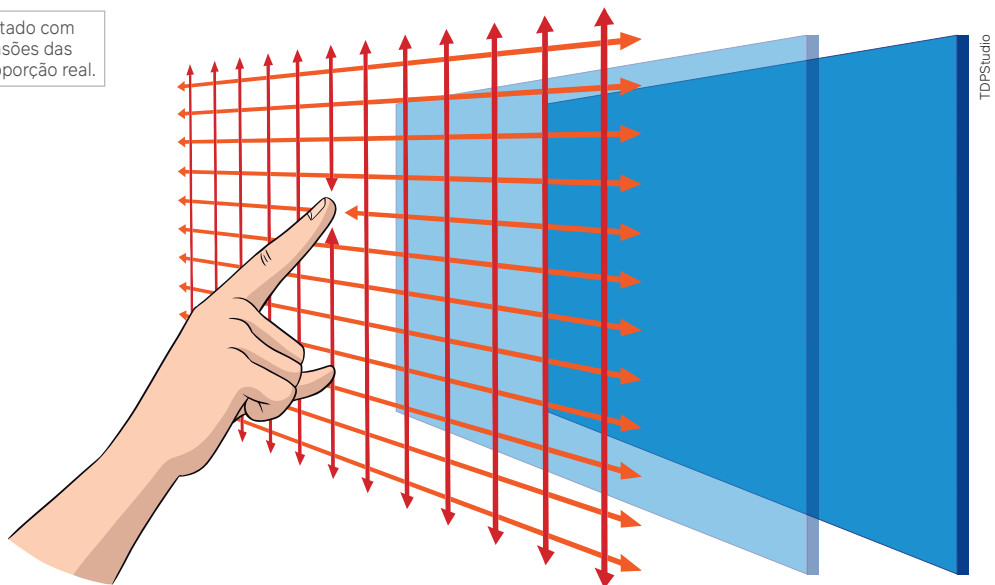


PDA utilizado nos anos 1990 e 2000 e a primeira geração de *smartphone* com tela sensível ao toque.

Existem diferentes mecanismos utilizados para a produção dessas telas. Apresentaremos quatro deles: **telas resistivas**, **telas capacitivas**, **telas de ondas acústicas** e **telas com tecnologia de microcâmeras**. Analisando os nomes dessas telas é possível antever quais são as áreas da Física utilizadas para a explicação de seu funcionamento, por exemplo, as resistivas e as capacitivas foram desenvolvidas a partir de conhecimentos da Eletrodinâmica, pois funcionam com base em resistores e capacitores. As telas de ondas acústicas utilizam conhecimentos da Ondulatória e da Acústica, enquanto as de tecnologia de microcâmeras utilizam conhecimentos da Física Moderna.

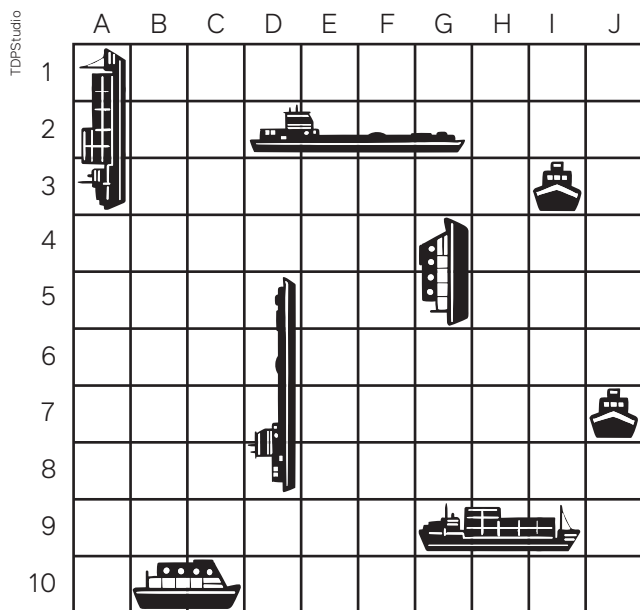
Apesar de mobilizarem áreas distintas do conhecimento, todas elas se baseiam na construção de uma grade que será responsável pelo mapeamento de onde a informação veio. Por exemplo, ao utilizar o celular, como você acha que o aparelho identifica o ícone clicado e, então, abre determinado aplicativo? Basicamente, em todos os aparelhos com telas desse tipo, uma rede é produzida de forma que é possível mapear a origem da informação, conforme a imagem a seguir.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

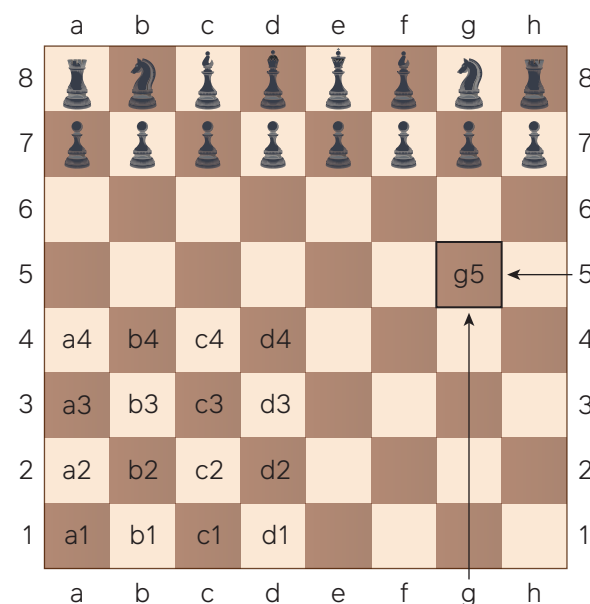


Representação gráfica da rede que identifica a região em que a tela foi tocada.

Essa região possui uma identificação espacial que é interpretada pelo aparelho. Podemos fazer uma analogia com essa interpretação de região comparando essas telas com os jogos de batalha-naval ou xadrez. Nesses casos, sabemos o que está acontecendo, ou seja, qual casa foi escolhida na batalha-naval ou quais peças estão em quais casas no xadrez; isso acontece por termos uma grade e um nome para cada célula. Com isso, podemos identificar, descrever e fazer uma leitura acerca do que está acontecendo nos jogos.



Exemplo de grade na batalha-naval.

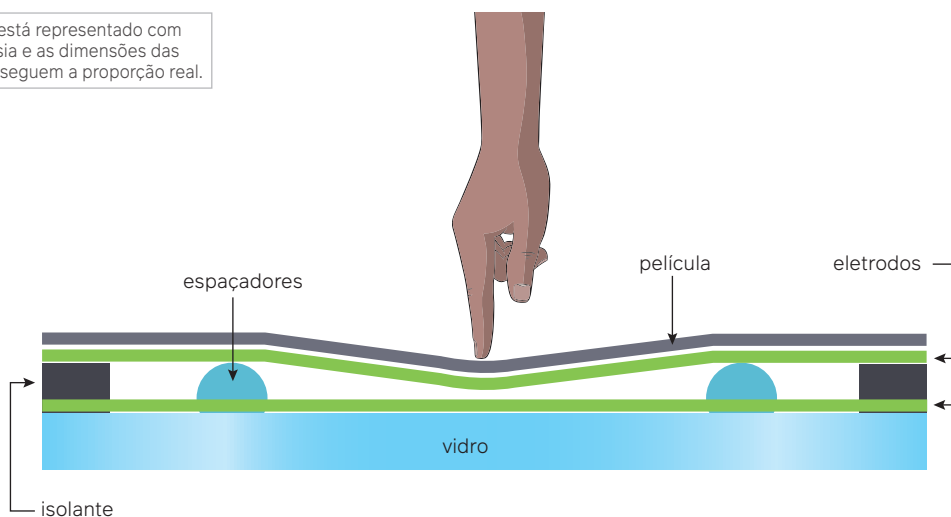


Exemplo de grade no xadrez.

Telas resistivas

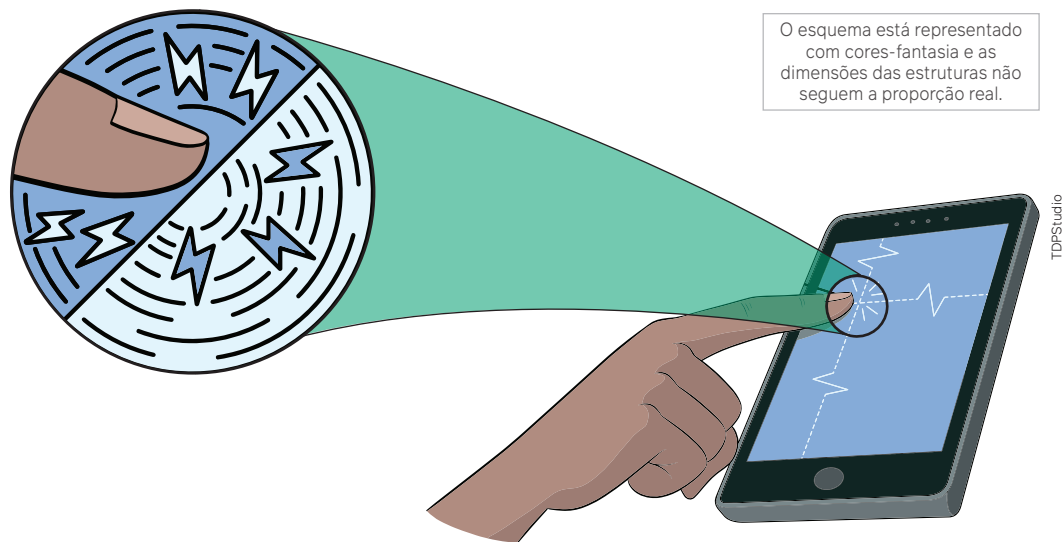
Uma das primeiras tecnologias utilizadas nas telas sensíveis ao toque foi montada a partir da resistência elétrica de diferentes materiais. Essas telas são compostas de duas camadas de materiais separadas por espaçadores. A camada inferior é composta de vidro e, acima dela, há uma fina camada de óxido de índio-estanho (ITO), que é um material condutor. A camada superior também possui ITO em sua parte interna, mas é coberta por uma camada de material plástico. Os espaçadores presentes entre uma camada e outra são capazes de deixá-las separadas caso ninguém toque na tela. No entanto, quando uma pessoa realiza pressão na tela com os dedos, as camadas superior e inferior entram em contato. Quando isso acontece, o campo elétrico é alterado naquela região. Como consequência, as coordenadas desse ponto são calculadas, um sinal é emitido e convertido em uma ação, seguindo a programação do equipamento.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Representação esquemática de uma tela resistiva e seus componentes.

Do ponto de vista físico, podemos pensar em um modelo de funcionamento dessas telas como uma rede de resistores. Lembre-se de que, quando temos diversos resistores ligados, podemos pensar em uma resistência equivalente, analisando se estão conectados em série, em paralelo ou em uma associação mista. O toque na tela faz com que haja uma alteração da resistência equivalente da rede, por isso, podemos dizer que há uma alteração no recebimento de informações associadas à tensão elétrica, à corrente e ao campo elétrico da região pressionada.



Representação de parte da rede de resistores em uma tela resistiva.

Uma desvantagem desse tipo de tela é a sua luminosidade. Devido ao material de que é produzida e da quantidade de camadas, apenas 75% da luminosidade do monitor de fato é transmitida, o que dificulta a visualização, principalmente quando há luminosidade externa incidindo diretamente na tela, como a do Sol. Além disso, essas telas não respondem bem a diversos toques ao mesmo tempo ou quando são feitos estímulos com baixa diferença de tempo entre um e outro, também não é possível dar **zoom** em telas resistivas. Apesar disso, elas possuem a vantagem de ter alta durabilidade e baixo custo de produção. Alguns equipamentos que utilizam esse tipo de tela são os caixas eletrônicos de bancos.

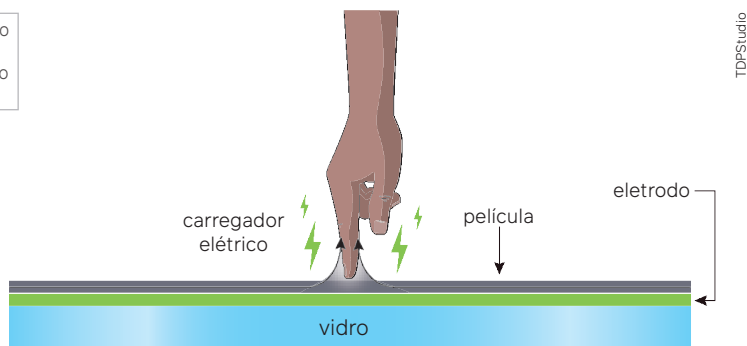


Os caixas eletrônicos ainda são um exemplo de onde essas telas são utilizadas.

Telas capacitivas

As telas capacitivas contêm uma camada feita de um material capaz de armazenar carga elétrica, por isso o nome “capacitiva”, dado que essa camada tem características análogas a um capacitor. Quando tocamos nessas telas, o que ocorre é um processo de transferência de cargas elétricas da tela para a pessoa, assim como um choque, mas com voltagem tão pequena que a descarga elétrica recebida é imperceptível. Como a região que recebeu o toque fica com menor concentração de carga do que as regiões ao seu redor, ela é mapeada, e essa informação é enviada para o processamento de acordo com a programação do equipamento. A luminosidade dessas telas é melhor quando comparada às telas resistivas, uma vez que são capazes de transmitir até 90% da luminosidade do monitor.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Representação esquemática de uma tela capacitiva.

Esse tipo de tela também possui outras vantagens, como a velocidade de resposta e a tecnologia de multitoque, que permite maior interatividade entre os usuários e o aparelho.

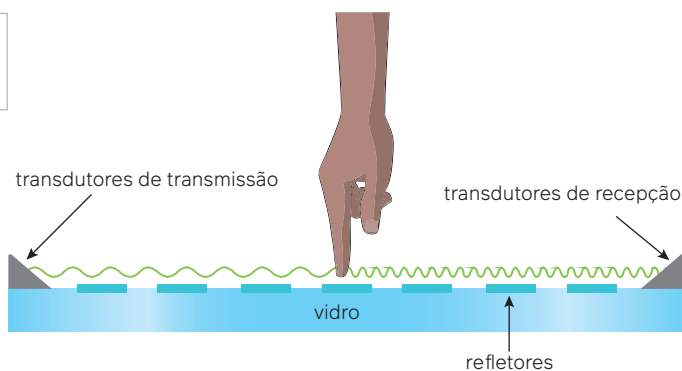
Telas de ondas acústicas

As telas de ondas acústicas permitem a passagem de 100% da luminosidade do monitor. Como o nome já revela, elas funcionam a partir da transmissão e da recepção de ondas sonoras. Nessas telas existem diversos **transdutores** que emitem e recebem sinais sonoros nas bordas, produzindo uma rede de ondas sonoras que transitam pela tela. Esses transdutores são capazes de converter o sinal sonoro em sinal elétrico. Quando uma pessoa toca na tela, ela altera o padrão anterior das ondas sonoras, e esse estímulo é convertido em um sinal elétrico e interpretado a partir da programação do equipamento.

GLOSSÁRIO

Transdutor: mecanismo que transforma características físicas, como pressão e temperatura, em sinal elétrico.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



TDPStudio

Representação esquemática do funcionamento de telas de ondas acústicas sensíveis ao toque.

Embora esses aparelhos funcionem com a emissão e a recepção de ondas sonoras, não é possível ouvir essas ondas, nem se aproximarmos os ouvidos das telas. Isso acontece porque a frequência sonora das ondas emitidas tem valor muito inferior à frequência que os seres humanos são capazes de escutar.

Lembrando que a equação utilizada para descrever a velocidade (v) de propagação de ondas é:

$$v = \lambda \cdot f$$

Note, a partir da imagem, a alteração sofrida entre as ondas sonoras emitidas e recebidas. Perceba que o comprimento de onda (λ) e a frequência (f) são alterados. Nessa situação, podemos considerar que a velocidade de propagação da onda é constante, mas que essas outras grandezas se alteram.

Telas infravermelhas

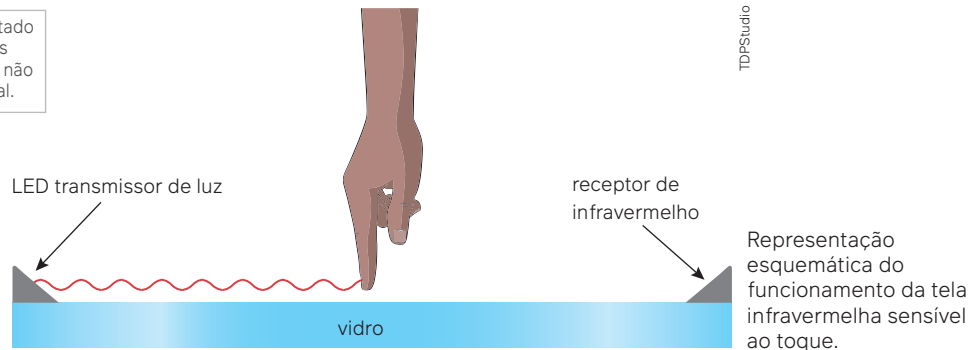
Podemos compreender o funcionamento das telas infravermelhas comparando com cenas de filmes em que alguém tenta entrar em uma sala que possui alarme, cujo acionamento está condicionado ao atrito direto com o *laser*, como na imagem a seguir.



Lasers acionados em uma sala escura. Caso algum deles seja atravessado por algum corpo opaco, ativa-se um alarme.

As telas que funcionam a partir da emissão de ondas eletromagnéticas do comprimento de onda do infravermelho atuam de maneira muito semelhante a esses alarmes. Ao redor das telas existem emissores e receptores de radiação infravermelha. Quando tocamos na tela, bloqueamos a passagem das ondas eletromagnéticas, fazendo com que um sinal elétrico seja enviado e interpretado pelo equipamento eletrônico.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



No caso dessas telas, também ocorre a formação de uma grade de informações: o sinal é enviado por *LEDs* em duas das extremidades das telas e é recebido por receptores nos outros dois lados. A informação do toque na tela é interpretada pela ausência da chegada de luz no ponto em que houve o contato.

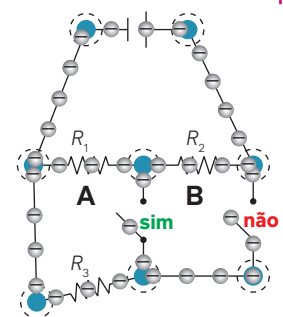
Observe como diferentes conhecimentos e teorias físicas são utilizados para desenvolver e aprimorar uma mesma aplicação tecnológica; nesse caso, as telas sensíveis ao toque.

Utilizamos teorias e modelos de diversas áreas da Física para descrever e comparar esses tipos de tela. É possível dizer, ainda, que um mesmo aparato tecnológico combina distintos conhecimentos, por exemplo, as telas de ondas acústicas englobam conhecimentos de Ondulatória, Acústica e Eletromagnetismo. Esses tipos de tela são utilizados em diversos *smartphones*, computadores, *tablets* e outros *displays*, ficando a critério do fabricante avaliar qual é a tecnologia que melhor se adapta ao produto que estão desenvolvendo.

Atividades comentadas

- As telas *touchscreen* podem ser constituídas por diferentes tecnologias, sendo as telas resistivas uma das mais comuns. Elas oferecem cerca de 80% de precisão e processam apenas um ponto de pressão por vez. Podemos representar essas telas como um conjunto de associação de resistores, de tal forma que cada ponto tocado na tela envia um sinal que é interpretado posteriormente pelo sistema operacional do aparelho em que a tela está acoplada. Suponha que parte de uma tela possa ser modelada a partir do seguinte circuito resistivo:

É possível observar que, ao fechar o circuito no ponto A, a pessoa que tocou na tela selecionou a opção SIM. Ao passo que, ao tocar no botão NÃO, o circuito é fechado no ponto B da malha resistiva. Nessa configuração, determine qual é o



$$R_1 = R_2 = R_3 = 10 \, \Omega$$

Ericson Guilherme

valor da resistência equivalente enviada ao computador quando a pessoa seleciona o botão SIM e o NÃO, respectivamente.

Resolução

Para encontrarmos a resistência equivalente precisamos considerar a associação gerada em cada caso.

Ao apertar SIM:

Os resistores R_1 e R_3 estarão associados em paralelo neste caso e esta associação está em série com o resistor R_2 . Assim:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}} + 10 \Rightarrow R_{eq} = \frac{1}{\frac{2}{10}} + 10 \therefore R_{eq} = 15 \Omega$$

Ao apertar NÃO:

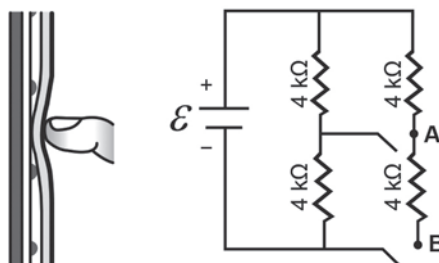
Os dois resistores R_1 e R_2 estão associados em série e esta associação está em paralelo com o resistor R_3 . Portanto:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{10 + 10} + \frac{1}{10} \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{20} + \frac{1}{10} \Rightarrow R_{eq} = \frac{200}{30} \therefore R_{eq} \approx 6,7 \Omega$$

Atividades propostas



1. Faça quatro desenhos esquemáticos que representem as grades dos quatro tipos de telas sensíveis ao toque estudados até aqui (resistivas, capacitivas, ondas acústicas e infravermelhas). Cite uma semelhança e uma diferença entre essas telas.
2. (Enem – 2018) Muitos *smartphones* e *tablets* não precisam mais de teclas, uma vez que todos os comandos podem ser dados ao se pressionar a própria tela. Inicialmente essa tecnologia foi proporcionada por meio das telas resistivas, formadas basicamente por duas camadas de material condutor transparente que não se encostam até que alguém as pressione, modificando a resistência total do circuito de acordo com o ponto onde ocorre o toque. A imagem é uma simplificação do circuito formado pelas placas, em que **A** e **B** representam pontos onde o circuito pode ser fechado por meio do toque.



Qual é a resistência equivalente no circuito provocada por um toque que fecha o circuito no ponto **A**?

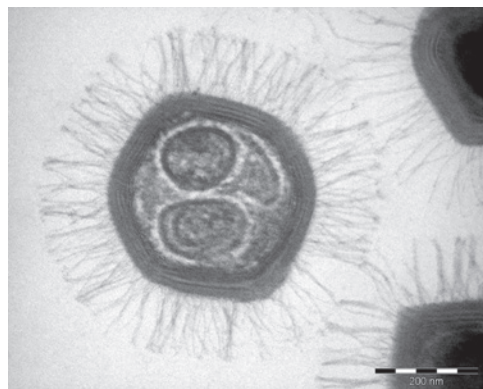
- a) 1,3 kΩ
- b) 4,0 kΩ
- c) 6,0 kΩ
- d) 6,7 kΩ
- e) 12,0 kΩ

Microscópio eletrônico

Outro exemplo da união de diferentes conhecimentos relacionados à Física usados no desenvolvimento e aprimoramento de aplicações tecnológicas são os microscópios eletrônicos.

Para compreendermos a evolução desse instrumento, é preciso lembrar que eles existem para que se torne possível a observação e a investigação de objetos que não conseguimos ver a olho nu.

Micrografia eletrônica de transmissão do *Acanthamoeba polyphaga* mimivírus (APMV), comumente conhecido como mimivírus. Ampliação de 67 500 vezes.



DR RAOULT/LOOK AT SCIENCES/
SCIENCE PHOTO LIBRARY/Fotorena

Há uma limitação de tamanho de objetos que os seres humanos são capazes de enxergar e isso está relacionado ao comprimento de onda da luz que somos capazes de detectar com os olhos. Algo semelhante acontece com os microscópios ópticos, isto é, há uma limitação de tamanho de objetos que esses instrumentos são capazes de atingir, e essa limitação também está associada à escala desses materiais, bem como ao comprimento de onda associado a eles.

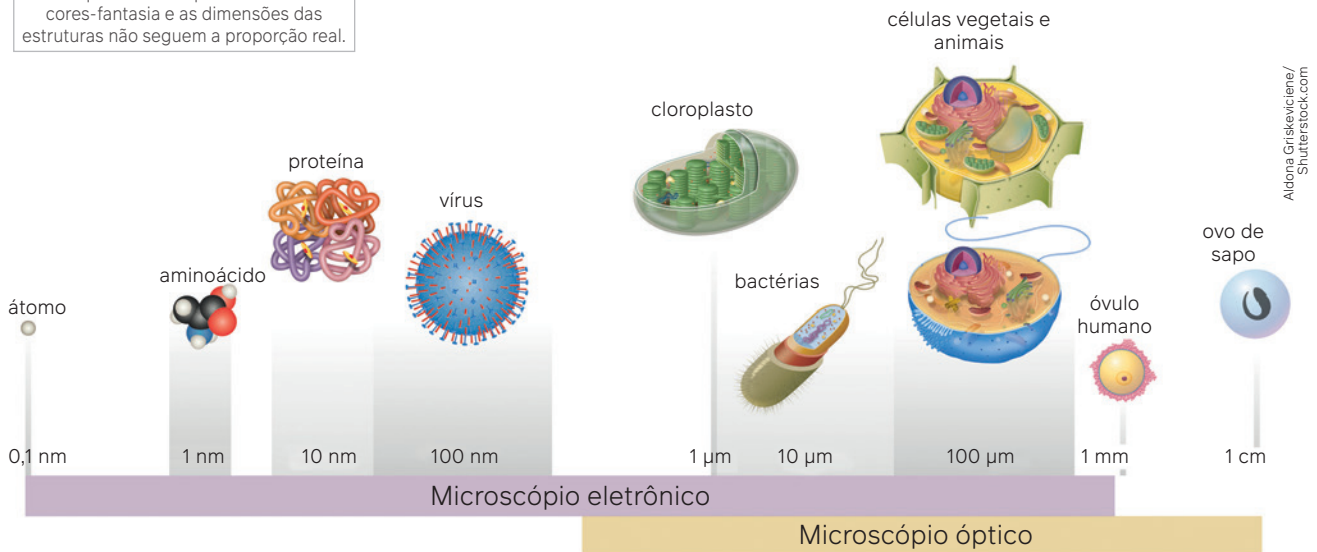
Os **microscópios eletrônicos** tiveram uma importância fundamental para o desenvolvimento científico, uma vez que propiciaram a visualização de objetos com escalas inferiores ao comprimento de onda do microscópio ultravioleta.

O primeiro aparelho desse tipo foi proposto pelo físico alemão Ernst Ruska (1906-1988), em 1931, o que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física, em 1986.

A principal diferença entre o microscópio eletrônico e o microscópio óptico tradicional é que o primeiro não utiliza luz nem conjunto de lentes de cristal para promover o aumento das imagens, mas, sim, um feixe de elétrons e lentes eletromagnéticas, que são compostas de um conjunto de bobinas.

Quando falamos sobre a capacidade de aumento, nitidez e resolução, os **microscópios eletrônicos** são muito superiores em qualidade se comparados com os ópticos. Isso acontece porque os microscópios ópticos ficam restritos aos comprimentos de onda da luz. É importante lembrar que, no espectro visível, esse valor varia, aproximadamente, entre 400 e 700 nm (1 nm = 1 nanômetro = $1 \cdot 10^{-9}$ m). Em contrapartida, os microscópios eletrônicos permitem resoluções entre 0,2 e 0,5 nm. Isso possibilita a observação de diversos outros organismos e objetos que antes não era possível devido à dimensão deles. Além disso, os microscópios eletrônicos proporcionam maior resolução e nitidez na observação de materiais que já eram possíveis pelos microscópios ópticos.

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.



Comparação de escalas observáveis para os microscópios óptico e eletrônico.

Existem três diferentes tipos básicos de microscópios eletrônicos, são eles: microscópio de varredura (MEV), microscópio de transmissão e microscópio de varredura por tunelamento (MEVT). Vamos compreender algumas diferenças entre eles.

▶ Ciências da Natureza

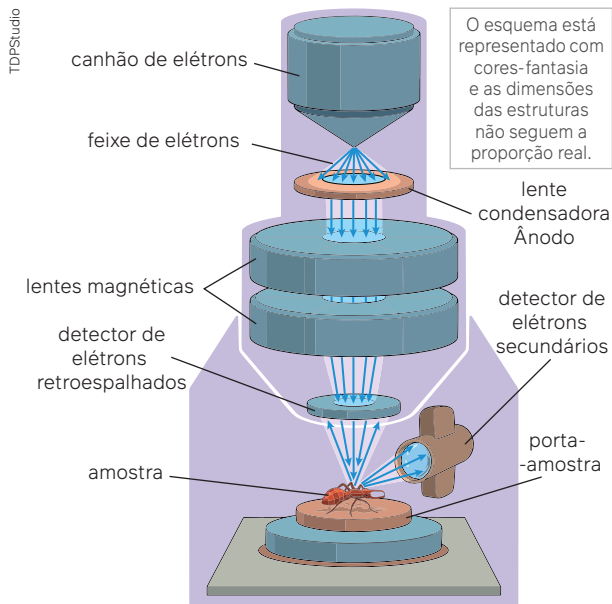
O estudo sobre vírus e bactéria pode ser aprofundado no **Capítulo 5** do volume de **Biologia**.

Microscópio de varredura (MEV)

Esse tipo de microscópio é capaz de mapear tridimensionalmente a superfície de uma amostra com alta resolução e realizar, ainda, a análise química da substância observada. De modo geral, os microscópios eletrônicos de varredura têm como base de funcionamento a utilização de um feixe de elétrons que “varre” toda a superfície da amostra, transmitindo os sinais de reflexão do detector a uma tela catódica. Comparando os sinais detectados e o sinal emitido é possível construir a estrutura tridimensional da superfície. A produção do feixe de elétrons acontece por meio da aplicação de uma alta tensão entre dois pontos de um filamento metálico, o que faz com que os elétrons sejam ejetados em altas velocidades. Para a **colimação** do feixe, utiliza-se um conjunto de bobinas.

GLOSSÁRIO

Colimação: técnica que permite tornar paralelas as trajetórias dos elétrons ejetados, com a maior precisão possível.

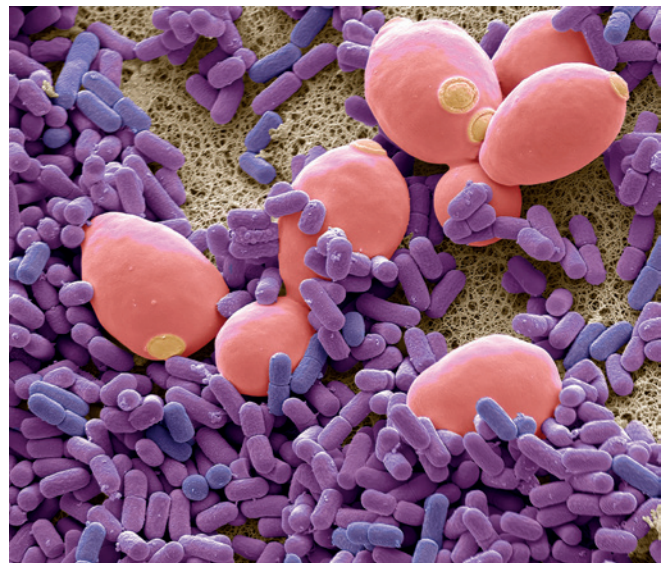


Representação esquemática de um microscópio eletrônico de varredura.

Os resultados obtidos pelas análises de amostras que utilizam esse equipamento podem ser ilustrados por imagens como estas a seguir:

É importante observar que as imagens obtidas não são coloridas, mas isso pode ser feito posteriormente pelos pesquisadores. Existem diversos cursos e estudos sobre como realizar essa coloração, que se relaciona diretamente às propriedades físicas e químicas das amostras, que obtêm uma estrutura mapeada.

Micrografia eletrônica de varredura (MEV) de bactérias e leveduras *Lactobacillus* do kefir, uma bebida láctea fermentada que contém leveduras benéficas, bem como bactérias probióticas. Ampliação de 3000 vezes.

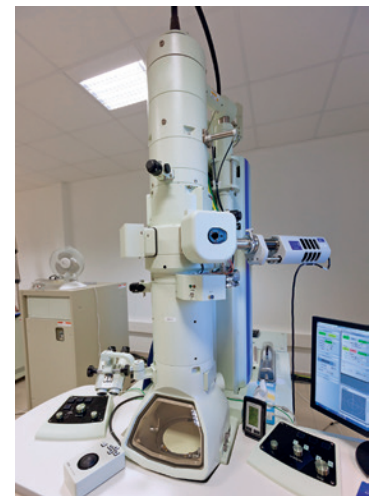


STEVE GSCHEISSNER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/Fotoarena

Microscópio de transmissão

Os microscópios eletrônicos de transmissão têm funcionamento semelhante aos de varredura. No entanto, em vez de varrer toda a superfície da amostra, esse tipo de microscópio lança feixes de elétrons que atravessam o material analisado. Nessa passagem, os elétrons interagem com a amostra, e é a partir desta interação que é possível mapear sua estrutura, uma vez que formam uma imagem que é detectada por sensores – como os utilizados nas câmeras digitais –, denominados *charged-couple devices* (CCDs), dispositivos de carga acoplada.

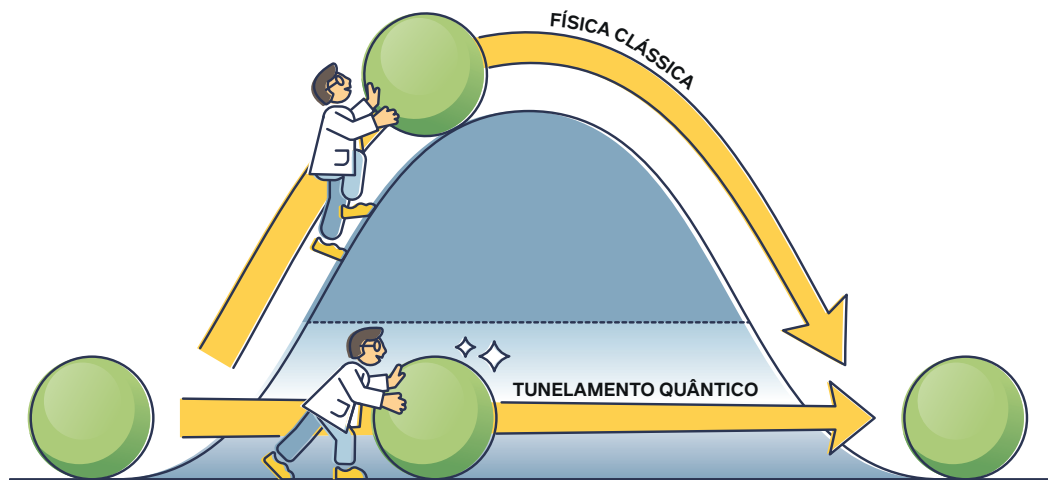
Microscópio eletrônico de transmissão.



Pirnce73/Shutterstock.com

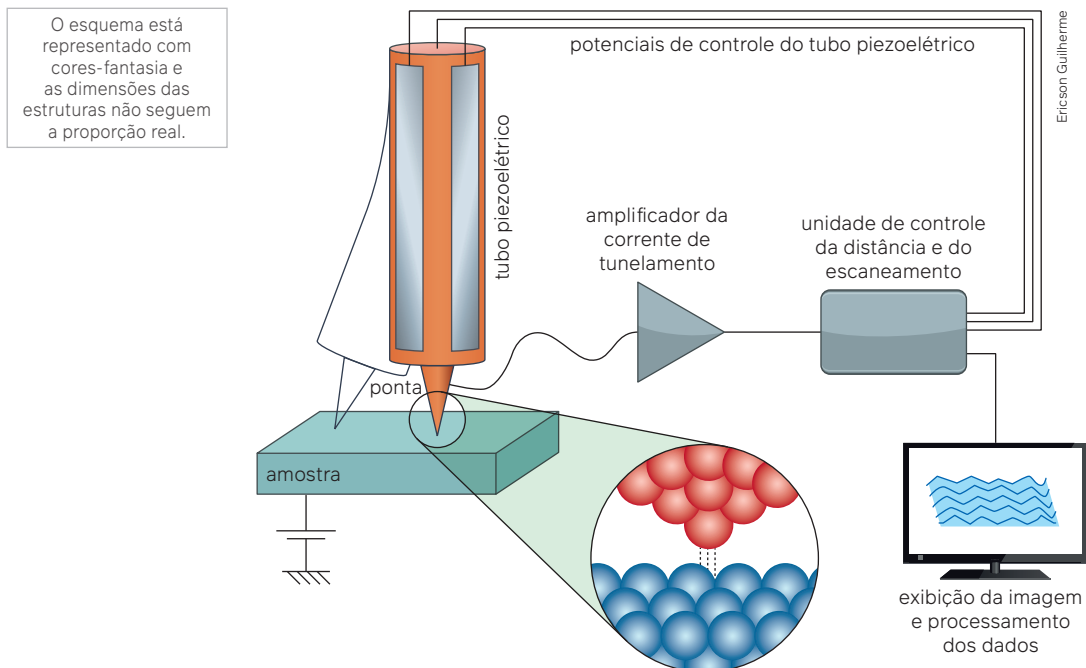
Microscópio de varredura por tunelamento (MEVT)

Os microscópios de varredura por tunelamento têm como princípio básico de funcionamento o tunelamento quântico. Nesse fenômeno de natureza quântica, as partículas podem transpor estados de energia classicamente proibidos, ou seja, podem transpor barreiras de potencial mesmo que sua energia cinética seja inferior à energia potencial da barreira. Se buscarmos compreender esse fenômeno classicamente, enfrentaremos um estranhamento. Para efeitos de analogia, é como se uma pessoa, querendo ultrapassar uma montanha, pudesse ser encontrada diretamente do outro lado sem precisar subir e descê-la.



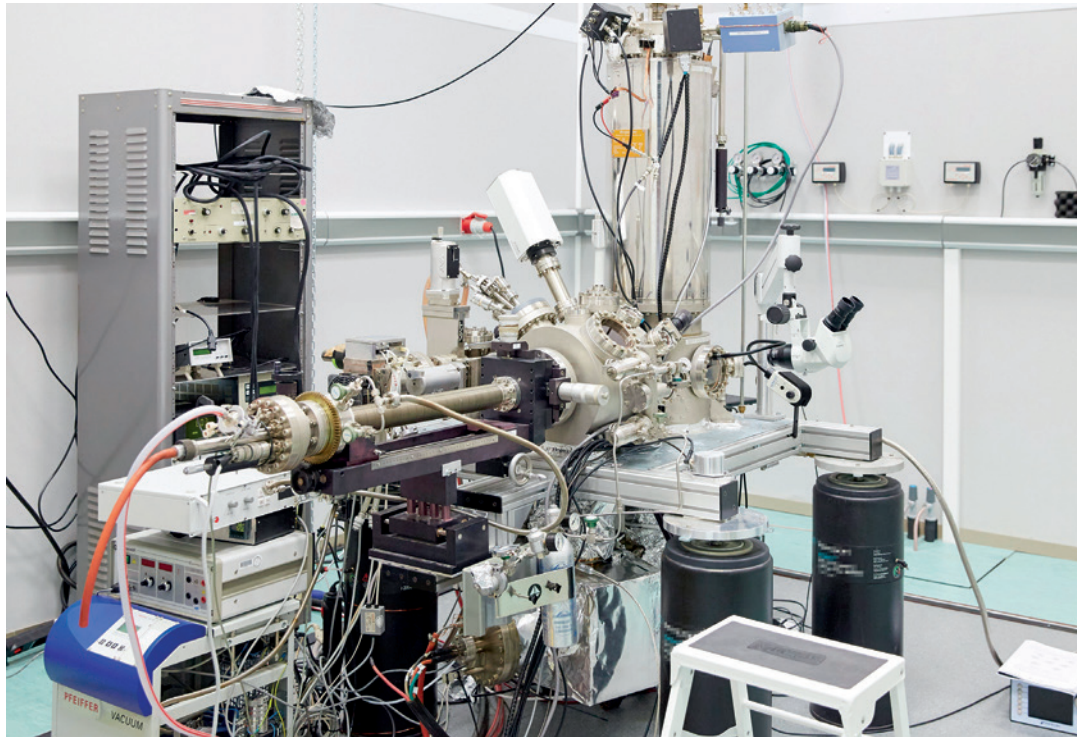
Representação esquemática que mostra a diferença entre transpor uma barreira de potencial conforme a Física Clássica e de acordo com o tunelamento quântico.

Portanto, para compreendermos esse fenômeno, precisamos considerar o caráter ondulatório das partículas, lembrando da hipótese formulada pelo físico francês Louis de Broglie, que vimos no capítulo 21. Assim, como as partículas possuem caráter ondulatório, o que ocorre é que, ao se chocar com uma barreira, parte da onda pode ser transmitida para o outro lado dela, de tal forma que a variável alterada é apenas a amplitude da onda relacionada à partícula analisada.



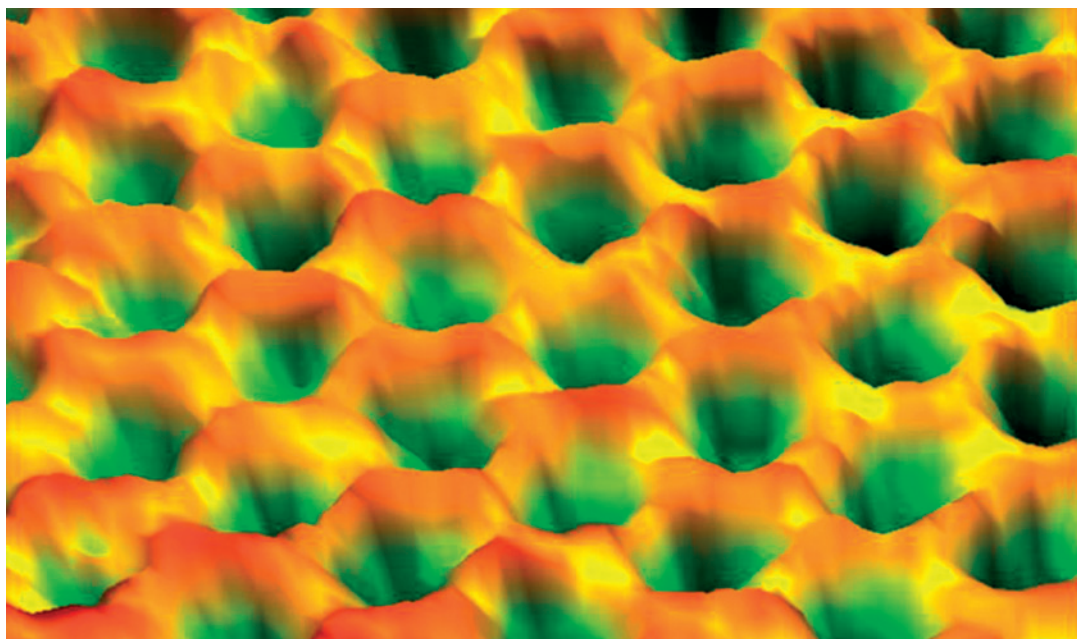
Esquema de funcionamento de um MEVT.

Os MEVT utilizam esse fenômeno para “varrer” a estrutura dos materiais. Quando aproximamos uma ponteira metálica, por onde passa corrente elétrica, de uma estrutura metálica, os elétrons que compõem a estrutura da amostra podem “puxar” os elétrons por tunelamento quântico. Esses sinais são interpretados, possibilitando o mapeamento da amostra, bem como viabilizando a análise da estrutura de átomos e moléculas, uma vez que os microscópios de tunelamento possuem resolução que varia entre 0,01 nm e 0,1 nm. O desenvolvimento desse equipamento fez com que outros dois cientistas, Gerd Binnig (1947-) e Heinrich Rohrer (1933-2013), recebessem o Prêmio Nobel de Física, em 1986, junto a Ernst Ruska.



Javier LARREA/Alamy/Fotoarena

Microscópio eletrônico de varredura por tunelamento.



IBM Research/Science Photo Library/Fotoarena

Imagem obtida por microscopia de varredura por tunelamento de uma rede hexagonal de grafeno, forma alotrópica do carbono. Há uma separação de 1,4 angstrom entre cada átomo consecutivo de carbono. Esta imagem foi registrada à temperatura ambiente. As regiões mais escuras indicam locais mais profundos, e as mais claras indicam os locais mais altos.

Pesquisadoras da UnB destacam-se em prêmio de fotografia científica

Pelo segundo ano consecutivo, Universidade garante o pódio na premiação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

[...]

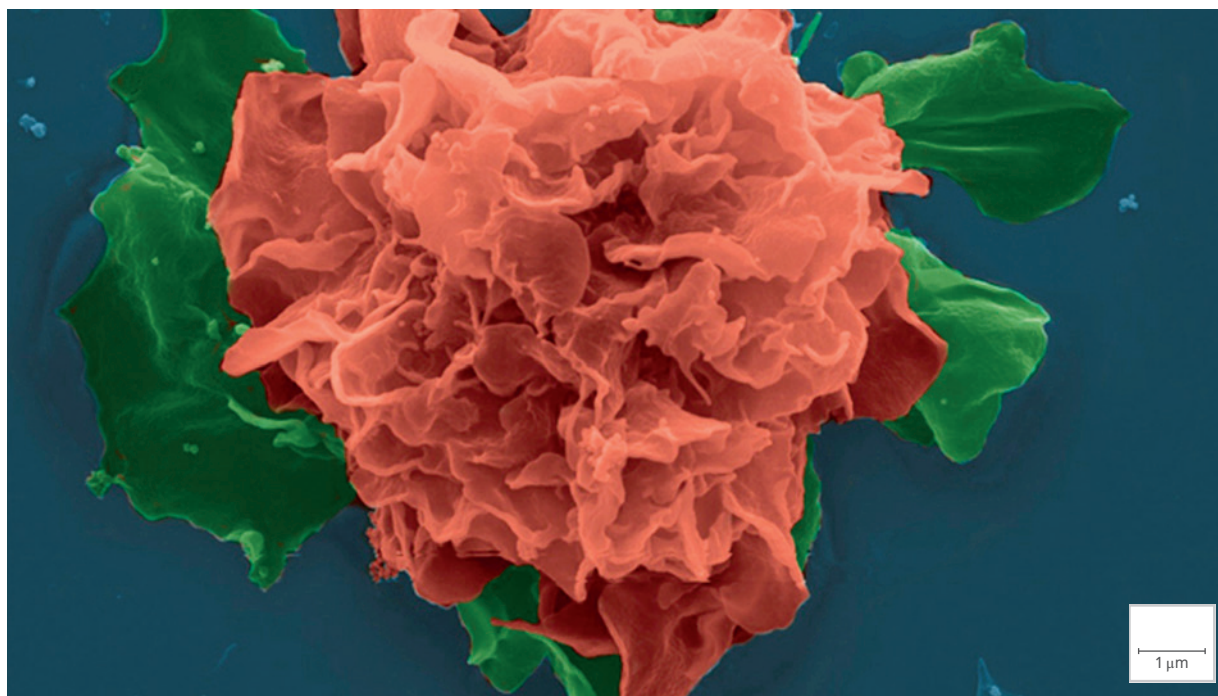
Marina Simões e Raquel Almeida, ambas estudantes da UnB, subiram ao pódio do Prêmio de Fotografia Ciência & Arte elaborado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). As pesquisadoras conquistaram, cada uma, em 2021 e 2022, respectivamente, o segundo lugar na categoria que contempla imagens feitas por instrumentos especiais.

A premiação seleciona fotos que unem Ciência e arte, para popularizar o conhecimento científico. A participação é destinada a estudantes de graduação e pós-graduação. Há também uma categoria para imagens produzidas por câmeras fotográficas.

DE FLORES A JUSTICEIRAS – Com a fotografia nomeada Flor de cravo: do jardim dendrítico, Marina Simões conquistou prêmio em 2021. A estudante conta que se deparou com o retrato durante sua pesquisa de mestrado desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Patologia Molecular (PPGPM), da Faculdade de Medicina (FM).

A pesquisa aborda a resposta inflamatória do sistema imunológico em um tratamento contra câncer de pele. A foto premiada foi produzida por microscópio eletrônico de varredura (MEV), capaz de produzir imagens em alta resolução.

A imagem foi batizada de flor de cravo, em razão da semelhança com a planta. Trata-se, em realidade, de uma célula dendrítica que pode ser encontrada na pele e no canal sanguíneo humano e é responsável por identificar corpos estranhos.

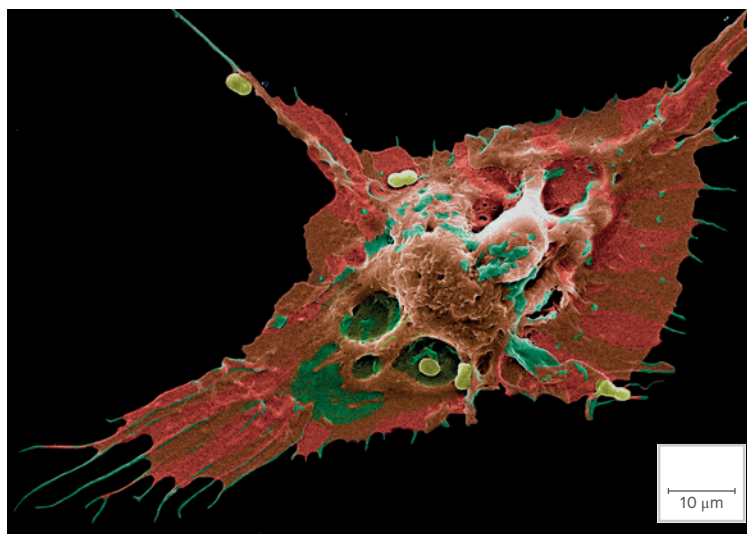


Marina Simões/Secom UnB

Flor de cravo: do jardim dendrítico, de Marina Simões. Fotografia produzida por microscópio eletrônico de varredura (MEV). A pesquisa aborda a resposta inflamatória do sistema imunológico em um tratamento contra câncer de pele.

Raquel Almeida levou o segundo lugar na edição de 2022 com a fotografia intitulada *Macrófago Ceifador: Na Mira da Morte*. O resultado foi divulgado agora, no fim de junho. Na imagem, vê-se uma célula do sistema imunológico encarregada de proteger o corpo humano infectado por uma bactéria.

“Eu criei na minha cabeça uma narrativa em que essa célula seria uma justiceira imunológica e, por isso, coloquei a caveira [observável na foto a partir da seleção de cores adotada por Raquel]. As bactérias estariam na mira da morte, pois essa é a função da célula”, explica. A foto inscrita na premiação faz parte da dissertação de mestrado de Raquel em Ciências Biológicas, sobre sistema de secreções bacterianas.



Raquel Almeida/Secom UnB

Célula do sistema imunológico encarregada de proteger o corpo humano infectada por uma bactéria. A fotografia, inscrita na premiação, faz parte da dissertação de mestrado de Raquel em Ciências Biológicas, sobre sistema de secreções bacterianas.

Hoje doutora em Biologia Molecular, Raquel Almeida ressalta a dificuldade de encontrar em uma foto científica uma representação que extrapole o objeto real registrado. Para ela, ter se deparado com uma imagem artística de forma não proposital foi um presente.

A pesquisadora conta como foi o processo de colorir a imagem: “coloquei a cor vermelha porque queria mostrar sangue, para representar a ação do ceifador. O verde para conferir contraste visual e mostrar que a caveira está viva. As bactérias, em amarelo, para as pessoas conseguirem visualizá-las”.

OLHAR CRIATIVO – O conhecimento em edição de imagens compartilhado pelas duas foi adquirido na disciplina Photoshop aplicado a imagens científicas, do PPGPM/FM. O professor responsável, José Raimundo Corrêa, explica que a matéria é destinada a estudantes que não conhecem o software.

Para ele, criatividade e percepção individual são diferenciais no momento da edição. “Estimulo o olhar crítico sobre a imagem para a divulgação científica. Para que vá além de uma imagem de dados científicos para inclusão em artigos e teses”, comenta.

O docente destaca que as imagens que concorrem à premiação só podem ser alteradas minimamente. Os participantes podem apenas mudar as cores para aprimorar a visualização das fotografias, de forma que fiquem mais interessantes ao público. A aplicação da coloração, segundo José Raimundo, deve se dar para que as fotos comuniquem, por si só, uma ideia.

A UnB FAZ, A SOCIEDADE VÊ – Raquel Almeida destaca satisfação em devolver para a comunidade, na forma de divulgação científica, a pesquisa desenvolvida na UnB. Ela se junta ao docente José Raimundo Corrêa na avaliação de que as vitórias consecutivas na premiação do CNPq são uma maneira de ampliar o alcance da Ciência produzida nas universidades, chegando até o público fora do ambiente acadêmico.

CEREJO, J. Pesquisadoras da UnB destacam-se em prêmio de fotografia científica. *UnB Notícias*, Brasília, DF, 13 jul. 2023. Disponível em: <https://www.noticias.unb.br/112-extensao-e-comunidade/6639-pesquisadoras-da-unb-se-destacam-em-premio-de-fotografia-cientifica>. Acesso em: 26 ago. 2024.

Trocando ideias

1. De acordo com o texto, como ocorre a coloração das imagens obtidas a partir da microscopia eletrônica?
2. Retire do texto um trecho que evidencie um aspecto relacionado à subjetividade e à objetividade da coloração das imagens.

Prêmio Nobel em Física de 1986

Comunicado à imprensa,

15 de outubro de 1986

[...]

Metade do Prêmio Nobel de Física deste ano foi concedido a Ernst Ruska por “seu trabalho fundamental em óptica eletrônica e para o projeto do primeiro microscópio eletrônico”. O significado do microscópio eletrônico em diferentes campos da Ciência, como a Biologia e a Medicina, está agora totalmente estabelecido: é uma das invenções mais importantes deste século.

Seu desenvolvimento começou com o trabalho realizado por Ruska como um jovem estudante na Universidade Técnica de Berlim no final da década de 1920. Ele descobriu que uma bobina magnética poderia atuar como uma lente para elétrons, e que tal lente de elétrons poderia ser usada para obter uma imagem de um objeto irradiado com elétrons. Ao acoplar duas lentes eletrônicas, ele produziu um microscópio primitivo. Ele rapidamente melhorou vários detalhes e, em 1933, foi capaz de construir o primeiro microscópio eletrônico com um desempenho claramente superior ao do microscópio de luz convencional.

[...]

A outra metade do prêmio deste ano foi concedida a Gerd Binnig e Heinrich Rohrer por “seu projeto do microscópio de tunelamento de varredura”. Este instrumento não é um verdadeiro microscópio (ou seja, um instrumento que dá uma imagem direta de um objeto), uma vez que se baseia no princípio de que a estrutura de uma superfície pode ser estudada usando uma caneta que escaneia a superfície a uma distância fixa a partir dele. O ajuste vertical da caneta é controlado por meio do que é chamado de “efeito túnel” – daí o nome do instrumento. Um potencial elétrico entre a ponta da caneta e a superfície faz com que uma corrente elétrica flua entre elas, apesar do fato de que elas não estão em contato. A força da corrente é intensamente dependente da distância, o que torna possível manter a distância constante a aproximadamente 10^{-7} cm (ou seja, cerca de dois diâmetros de átomos). [...]

A invenção do microscópio convencional representou um grande passo adiante para a Ciência, particularmente para a Biologia e a Medicina. Como microscópios cada vez melhores foram

construídos, descobriu-se que existe um limite que não pode ser excedido. Isso está conectado às características de onda da luz. [...]

O grande avanço na microscopia veio quando foi possível produzir imagens de um objeto usando um feixe de elétrons. O ponto de partida foi a descoberta de que uma bobina magnética pode funcionar como uma lente óptica. Um feixe divergente de elétrons que passa pela bobina é focado até certo ponto. Um campo elétrico adequado também pode atuar como uma lente elétron-óptica. Usando uma lente deste tipo, uma imagem ampliada pode ser obtida de um objeto irradiado com elétrons. [...]

O cientista que deu a maior contribuição para este desenvolvimento é Ernst Ruska. Como um jovem estudante, junto de seu supervisor Max Knoll, ele começou a estudar bobinas magnéticas simples, e descobriu que o uso de encapsulamento de ferro adequadamente projetado melhorou suas propriedades elétron-ópticas. [...]

Desde então, o desenvolvimento do microscópio eletrônico tem sido muito extenso. Seu poder de resolução poderia ser considerado teoricamente ilimitado, uma vez que o elétron é uma partícula semelhante a um ponto, no entanto, de acordo com a Mecânica Quântica, cada partícula tem características de onda que introduzem uma incerteza na determinação de sua posição. Isso estabelece um limite teórico de resolução para os potenciais de aceleração, normalmente utilizados na ordem de $0,5 - 1 \text{ \AA}$. Na prática, foram alcançadas resoluções para cerca de 1 \AA .

O tipo de microscópio eletrônico desenvolvido por Ruska é chamado de microscópio de transmissão. O objeto a ser examinado fica na forma de uma seção fina. O feixe de elétrons passa pela seção da mesma forma que a luz perfura o objeto em um microscópio de luz. Existem, no entanto, vários outros tipos de microscópio eletrônico; o mais importante, além do microscópio de transmissão, talvez seja o microscópio eletrônico de varredura. Nele, um feixe de elétrons extremamente focado atinge o objeto. Os elétrons secundários emitidos são coletados por um detector e a corrente é registrada. As bobinas magnéticas fazem com que o feixe de elétrons escaneie o objeto da mesma maneira que o feixe de um tubo de TV. As variações na emissão de elétrons secundários podem ser usadas para construir uma imagem. A vantagem é a grande profundidade de foco que uma imagem tridimensional apresenta quando comparada à imagem seccional

obtida com um microscópio de transmissão, contudo, a resolução não é tão boa. Os dois tipos de microscópio complementam-se dessa forma. [...]

A contribuição mais recente para o desenvolvimento da microscopia é o chamado microscópio de tunelamento de varredura. Seu princípio difere completamente de outros microscópios, uma vez que um dispositivo mecânico é usado para detectar a estrutura da superfície. [...]

Os primeiros pesquisadores a conseguir construir um microscópio de tunelamento de varredura foram Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, dos Laboratórios de Pesquisa da IBM, em Zurique, na Suíça. A razão para o seu sucesso foi a precisão excepcional do projeto mecânico. Um exemplo disso é que as vibrações perturbadoras do ambiente foram eliminadas através da construção do microscópio sobre um ímã permanente, pesado, e que flutua livremente sobre um prato de chumbo supercondutor. [...]

É evidente que esta técnica é uma promessa excepcional, e que até agora vimos apenas seu início, ou apenas o seu desenvolvimento. Muitos grupos de pesquisa, em diferentes áreas da Ciência, estão agora usando o microscópio de tunelamento de varredura. O estudo das superfícies é uma parte importante da Física, com aplicações particulares em semicondutores e microeletrônica. Em Química, também, as reações de superfície desempenham um papel importante, por exemplo, em conexão com a catálise. Também é possível fixar moléculas orgânicas em uma superfície e estudar suas estruturas. Entre outras aplicações, esta técnica tem sido utilizada no estudo de moléculas de DNA.

THE NOBEL PRIZE. Press release. *The Nobel Foundation*, [s. l.], 15 out. 1986. [Tradução livre]. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1986/press-release/>. Acesso em: 26 ago. 2024.

Trocando ideias

1. O texto destaca a relevância da proposta do microscópio eletrônico quando comparado a outros tipos de microscópio. Cite algumas das características que diferenciam esses tipos de microscópios. Qual foi a grande diferença na ideia de Ernst Ruska?
2. Qual foi a inovação proposta por Binnig e Rohrer? Qual é a principal potencialidade dessa ideia?
3. O texto evidencia uma das limitações do microscópio eletrônico citando a Mecânica Quântica. Explique, teoricamente, o que fundamenta essa limitação.
4. O texto apresenta como o desenvolvimento da tecnologia pode ser utilizado em diferentes campos da Ciência e da sociedade. Cite alguns dos exemplos dados.

Ciência por dentro

Janine Benyus: Quando você entra em uma floresta, cada organismo é um laboratório

[...] Cofundadora do *Biomimicry Institute*, a bióloga americana Janine Benyus acredita que a natureza é fonte de inspiração para criar soluções sustentáveis para o dia a dia. [...]

Em entrevista para a Agência de Notícias da Indústria, a bióloga explicou que embora os seres humanos modernos estejam na Terra há 200 mil anos, outros seres vivos começaram a habitar o planeta há 3,8 bilhões de anos, o que faz de nós extremamente jovens e com muito a aprender.

“Organismos mais velhos do que nós tiveram bilhões de anos para desenvolver inovações que cabem aqui na Terra. Quando você entra em uma floresta, cada organismo que você vê é um laboratório de fabricação química, produzindo materiais incríveis com a energia do sol e processos químicos”, explica. [...]

A bióloga explica que a biomimética nada mais é do que uma prática de inovação que imita conscientemente a genialidade da natureza e da vida na engenharia, na arquitetura, na química, no design, nos negócios, no planejamento urbano, e em todas as formas de inovação humana. “Em todo o mundo, os biomiméticos estão aprendendo a repelir bactérias como um tubarão, a criar concreto como um coral, a preservar vacinas como um urso d’água e a criar cores como um pavão”, exemplifica.

A biomimética se baseia, portanto, no olhar atento à natureza para melhorar o cotidiano. E a natureza, segundo Janine, mostra o potencial regenerativo de uma infinidade de espécies, que apresentam aos seres humanos os caminhos para tornar o mundo mais sustentável e, por que não, habitável.

[...]

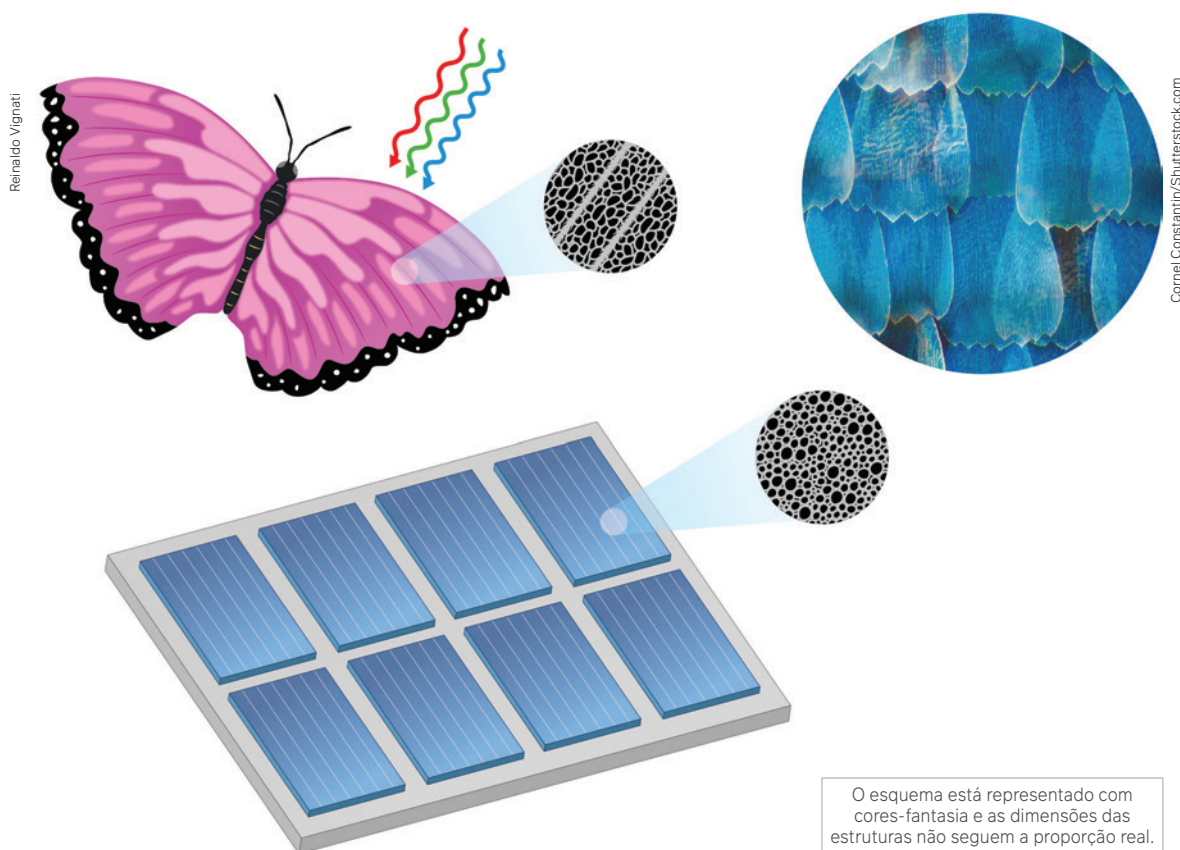
“Foi aí que paramos de admirar o restante do mundo natural como costumávamos fazer. Há não muito tempo atrás, os humanos respeitavam e admiravam outros organismos por sua capacidade de voar e de nadar a enormes profundidades. Depois nós também aprendemos a voar, a navegar, a sobreviver em climas extremos. Parecia que não precisávamos mais da natureza”, compara.

[...] “Com as sirenes do aquecimento global e da perda da biodiversidade tocando, estamos retornando ao mundo natural com um novo respeito e admiração. Nossa questão, agora, também é sobreviver aqui de uma forma que valorize esse lugar para as gerações futuras”.

[...]

GONZÁLEZ, S. Janine Benyus: Quando você entra em uma floresta, cada organismo é um laboratório. *Agência de Notícias da Indústria*, [s. l.], 27 set. 2023. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/janine-benyus/>. Acesso em: 5 set. 2024.

Uma aplicação da biomimética é o uso de estruturas semelhantes às asas de algumas borboletas para a produção de telas que tenham menor reflexão da luz incidente. Também é possível aplicar uma tecnologia semelhante às células fotovoltaicas com o objetivo de aumentar a absorção da luz solar incidente. O mapeamento das estruturas das asas dessas borboletas só foi possível a partir do uso de microscópios eletrônicos.



Comparação das estruturas das asas de borboletas e de células fotovoltaicas.

Material:

- computador ou celular com acesso à internet para realizar pesquisas.

Trocando ideias

1. Pesquise o que é a Biomimética.
2. Escolha um exemplo de uma aplicação tecnológica que utiliza a Biomimética. Explique como o material desenvolvido funciona e quais são os diferenciais que ele possui em relação aos outros materiais já existentes. Evidencie, em sua resposta, como o desenvolvimento dos microscópios eletrônicos podem ter auxiliado no desenvolvimento da aplicação tecnológica que encontrou em sua pesquisa.

3. Como as discussões sobre a pesquisa básica e a pesquisa aplicada se relacionam com os desenvolvimentos tecnológicos da Biomimética?
4. Utilizando as respostas dos itens anteriores, elabore um pôster de divulgação de uma aplicação tecnológica obtida por meio da Biomimética, enfatizando os aspectos ligados à relação sustentável com o meio ambiente destacados no texto apresentado. Em seu pôster, apresente:
 - a) a definição do que é Biomimética;
 - b) o exemplo pesquisado, suas funcionalidades e a inspiração que o originou;
 - c) a relação com o meio ambiente e a sustentabilidade.

#FicaADica

A escala do Universo, de Cary Huang (Scale of Universe). Nesta ferramenta, é possível observar estruturas em diferentes ordens de grandeza de tamanho. Disponível em: <https://scaleofuniverse.com/pt>. Acesso em: 26 ago. 2024.

Atividades propostas



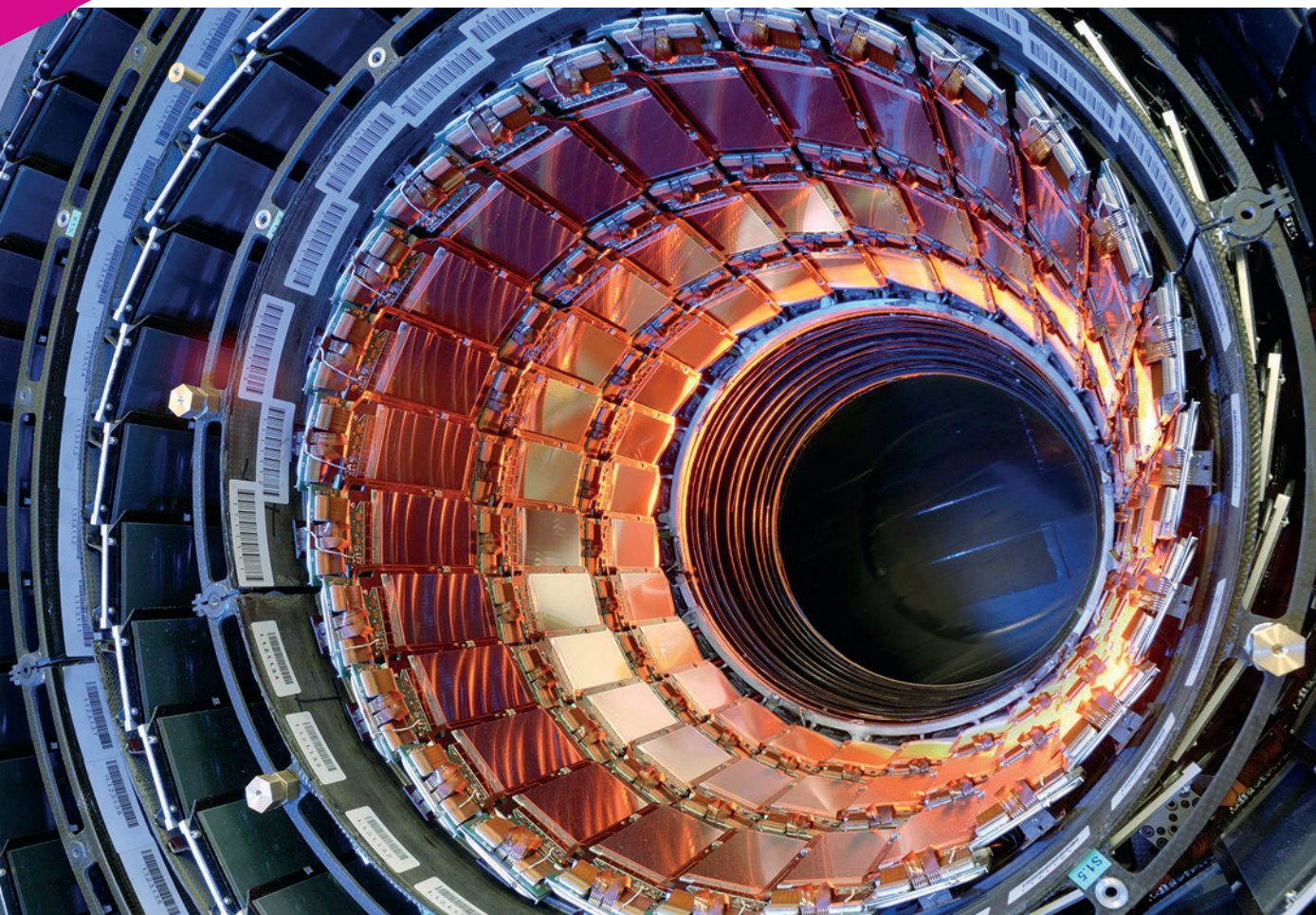
1. Levando em consideração as características das telas sensíveis ao toque, argumente sobre qual dos tipos de tela abaixo seria mais adequado na construção dos seguintes equipamentos.
 - a) Telas sensíveis ao toque das máquinas que auxiliam o pagamento por meio de cartão nos estabelecimentos.
 - b) Totens de autoatendimento.
 - c) *Tablets* e celulares.
2. Embora as telas de ondas acústicas e as telas de infravermelho utilizem movimentos ondulatórios para a emissão e recepção de sinais, elas possuem diferenças fundamentais. Cite duas diferenças entre essas telas.
3. Uma estudante está iniciando seus estudos sobre microscopia eletrônica. Uma de suas atividades iniciais é identificar qual microscópio é mais adequado para a observação de diferentes amostras. Analise, entre os microscópios eletrônicos estudados, qual seria o mais adequado para cada uma das situações a seguir.
 - a) Observação do átomo de ouro.
 - b) Mapeamento tridimensional da escama de tubarões para a produção de tecidos utilizados em roupas de natação.
4. Indique dois princípios ou fenômenos da Física Moderna que se relacionam diretamente com os microscópios eletrônicos.

Recapitule



Neste capítulo, estudamos que o entendimento sobre o funcionamento do mundo microscópico é fundamental tanto do ponto de vista da pesquisa básica quanto da pesquisa aplicada.

Vimos diferentes tecnologias que só foram desenvolvidas devido à apropriação da explicação de fenômenos em escalas micro, nano e atômicas. Estudamos, primeiramente, as telas sensíveis ao toque e os diferentes tipos de sensores que podem ser utilizados. Posteriormente, estudamos os microscópios eletrônicos, que relacionamos também aos conceitos da Física Moderna. Além disso, vimos como algumas áreas do conhecimento são fundamentadas e dependentes do aperfeiçoamento da pesquisa básica e aplicada, como é o caso da Biomimética, que obteve um salto de evolução em virtude da tecnologia permitida pelos microscópios eletrônicos. Agora, retome as questões que constam na abertura do capítulo, no box **Para refletir**. Com base no que você aprendeu, como responderia a essas questões? Você alteraria alguma resposta?



Acelerador de partículas LHC (*Large Hadron Collider* ou Grande Colisor de Hádrons, em português).

▼ Para refletir

No capítulo anterior, estudamos diferentes resultados da pesquisa aplicada em Física, como as telas *touchscreen* e os microscópios eletrônicos. Agora, vamos focar a atenção no estudo de uma das maiores áreas de pesquisa básica da Física atual: a Física de Partículas.

1. Com seu conhecimento atual sobre a estrutura da matéria, como você descreveria a composição das coisas?
2. Como explicar a união de vários prótons nos núcleos atômicos sabendo que cargas iguais interagem entre si com forças repulsivas?
3. O que é e para o que serve um acelerador de partículas?

Objetivos do capítulo

- Classificar as partículas a partir do Modelo-padrão da Física de Partículas.
- Diferenciar os férmions e os bósons, compreendendo a diferença e relevância de cada um deles.
- Compreender a relevância dos aceleradores de partículas.

Física de Partículas

Até o momento, vimos que a matéria é composta de átomos, e que esses átomos são compostos por três partículas: os elétrons, os prótons e os nêutrons. Constatamos que o entendimento sobre o que é o átomo evoluiu ao longo do tempo, o que podemos observar a partir da proposição dos diferentes modelos atômicos, tais como os de Dalton, Thomson, Bohr, Rutherford e Schroedinger.

Atualmente, há uma área da Física, chamada de Física de Partículas, ou Física de Altas Energias, cuja preocupação é o estudo dos constituintes da matéria e da radiação e suas interações; essa é uma área de pesquisa básica que está em constante desenvolvimento. Talvez você tenha escutado falar sobre descobertas relevantes para essa área de estudo, como a descoberta experimental do Bóson de Higgs, em 2012. Como decorrência desses estudos, há uma teoria explicativa que chamamos de Modelo-padrão da Física de Partículas. Ainda há questionamentos que o Modelo-padrão não é capaz de explicar, no entanto, essa teoria é o que a ciência possui hoje de mais concreto e completo para a compreensão da constituição da matéria e das forças que regem a sua interação. Estudaremos, neste capítulo, o que é o Modelo-padrão, quais são as partículas que fazem parte desse modelo explicativo e como podemos compreender a interação entre a radiação e a matéria a partir dessa teoria. Para tanto, vamos buscar características físicas comuns a elas que nos auxiliam a compreender e classificar essas partículas fundamentais.

Se liga

Um ponto que dificulta o estudo do Modelo-padrão é o fato dele ser composto por diversas partículas com características distintas. Assim, um aspecto que exige atenção na hora de estudar o modelo é o reconhecimento de cada uma das partículas e dos conjuntos que as reúnem. Certifique-se de que está acompanhando as classificações das partículas e compreendendo o que as diferenciam das outras.

O Modelo-padrão da Física de Partículas

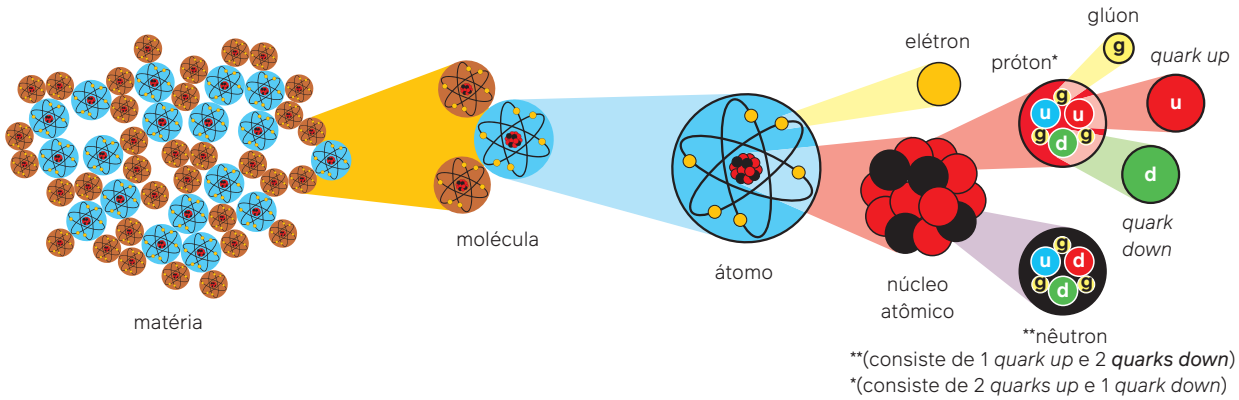
Há muito tempo, um dos grandes desafios da humanidade é entender do que tudo é feito, incluindo os seres humanos. O Modelo-padrão é o conjunto de leis e teorias que melhor descreve como compreendemos a estrutura interna da matéria, tanto em termos das partículas que a constituem quanto pela forma que elas interagem entre si.

O Modelo-padrão possui duas classes de partículas elementares: os bósons, que são mediadores das forças; e os férmions, que são os constituintes da matéria. Os férmions são divididos em *quarks* e léptons. É importante destacar que o Modelo-padrão é composto de 17 partículas, e cada uma nos auxilia a explicar uma parte da constituição da matéria. Vamos analisar as características de cada uma dessas partículas.

Um primeiro aspecto fundamental para se refletir é o fato de que as partículas existentes no Modelo-padrão são chamadas de elementares, ou seja, a combinação dessas partículas é o que compõem a matéria. Uma outra forma de interpretar o significado de “elementar” é a compreensão de que essas partículas não são formadas por outras. Por exemplo, podemos dizer que a matéria é composta de moléculas, que são compostas de átomos, que por sua vez são compostos por elétrons, prótons e nêutrons. Até agora, havíamos tratado os prótons e os nêutrons como partículas elementares, no entanto, veremos que eles não o são, afinal, são compostos por outros férmions e bósons.

A classificação de uma partícula como elementar é um processo extremamente complexo para a Física. Do ponto de vista teórico, essa definição é abstrata, ancorada na descrição matemática de características e propriedades de uma partícula. Já pelo olhar experimental, há diversos limites de alcance dos experimentos para a avaliação sobre a elementaridade.

As partículas que fazem parte do Modelo-padrão são representadas visualmente pelo uso de uma tabela que se assemelha à tabela periódica dos elementos químicos. Note que as duas maiores classes como os férmions e os bósons, dividem essa tabela em duas regiões: a primeira, que inclui os *quarks* e os léptons, e a segunda, que inclui o glúon, o fóton e os bósons.



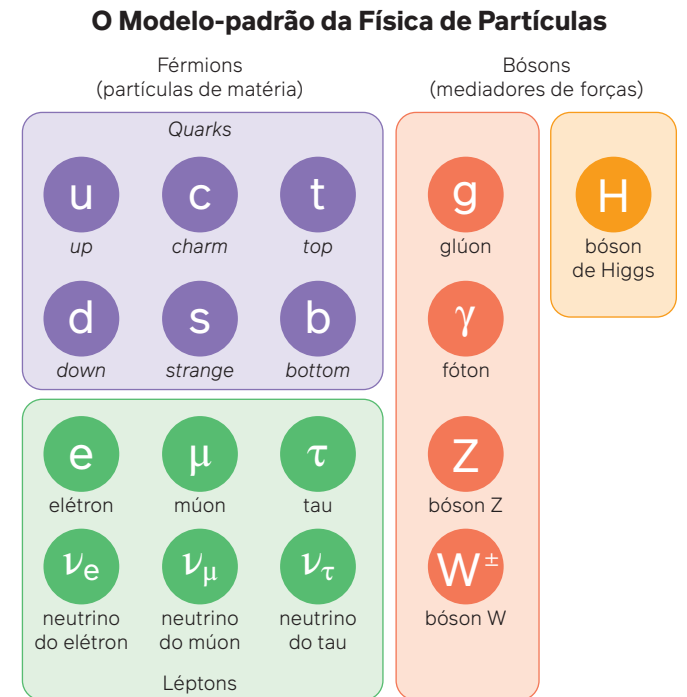
Escalas de análise da constituição da matéria. O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

As regiões de classificação das partículas no Modelo-padrão são diferenciadas a partir de três grandezas físicas principais.

Carga elétrica: as partículas podem ter cargas elétricas negativas, positivas ou nulas. Exceto pelos *quarks*, as cargas de todas as partículas são múltiplas da carga do elétron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C). A carga dos *quarks* são fracionadas em relação à carga do elétron.

Spin: é uma propriedade essencialmente quântica da matéria e não há um análogo clássico que nos remeta diretamente ao que é essa grandeza, no entanto, já o estudamos quando analisamos as propriedades magnéticas da matéria e os domínios magnéticos, pois o *spin* está relacionado à geração de campo magnético devido ao movimento angular das partículas. Como o *spin* é uma grandeza quântica, os valores que essa grandeza pode assumir são quantizados e múltiplos de $\frac{1}{2}$.

Energia, massa e quantidade de movimento: as partículas não podem ser pesadas como fazemos com os objetos macroscópicos, portanto, se temos a intenção de conhecer a massa dessas partículas, precisamos derivá-la de outras grandezas, no caso, a energia e a quantidade de movimento. As partículas se deslocam a velocidades muito altas, próximas à velocidade da luz, assim, devemos interpretar essas grandezas de modo relativístico. Para tanto, utilizamos um fator chamado de fator gama ou fator de Lorentz. Matematicamente, ele é descrito por:



Representação do Modelo-padrão das partículas elementares. Imagem sem proporção e em cores-fantasia.

Fonte: ABDALLA, M. C. B. *O discreto charme das partículas elementares*. São Paulo: Unesp, 2006.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

onde v é a velocidade da partícula e c é a velocidade da luz. Assim, descrevemos as três grandezas utilizando esse fator de correção:

- massa – podemos expressar matematicamente como $m = \gamma \cdot m_0$, em que m_0 é a massa de repouso;
- energia – como estamos realizando uma interpretação relativística dessa grandeza, a energia é descrita como $E = m \cdot c^2$, lembrando que $m = \gamma \cdot m_0$, temos: $E = \gamma \cdot m_0 \cdot c^2$;
- quantidade de movimento – é descrita matematicamente por $Q = \gamma \cdot m_0 \cdot v$

Agora, vamos compreender como essas grandezas são utilizadas para classificar e agrupar as partículas.

As antipartículas

Uma característica importante das partículas elementares é a existência de sua antipartícula. A primeira evidência teórica de que as antipartículas deveriam existir veio dos trabalhos do físico inglês Paul Dirac (1902-1984), em 1928. Como decorrência dos seus cálculos, foi descoberto que existiam duas possíveis soluções, uma com carga positiva e outra com carga negativa. Inicialmente, pensou-se que a antipartícula do elétron seria o próton, no entanto, as antipartículas possuem a mesma massa da partícula referente. Assim como a massa do próton é diferente do elétron, não poderiam formar um par partícula – antipartícula. A antipartícula do elétron foi detectada pelo físico estadunidense Carl Anderson (1905-1991) e foi chamada de pósitron pelo físico estadunidense Richard Feynman (1918-1988) e pelo matemático e físico suíço Ernst Stueckelberg (1905-1984), que propuseram formalmente a ideia de antipartícula. Os pares partículas e antipartículas sempre se aniquilam quando interagem, liberando energia.

Existe uma notação para diferenciar as partículas das antipartículas. Por exemplo, há, no Modelo-padrão, um *quark* cujo nome é *up*. Como notação, utilizamos a letra *u* minúscula para nos referirmos a essa partícula. Se quiséssemos nos referir à antipartícula do *quark up*, sua notação seria \bar{u} .

Além das antipartículas, também há a ideia da antimatéria. É comum escutarmos em filmes e canções o conceito de antimatéria. Na Física, compreendemos a antimatéria como aquela que seria formada apenas por antipartículas.

A constituição da matéria e os férmions

A matéria é composta por férmions, que podem ser de dois tipos diferentes: os *quarks* e os léptons. Cada um desses grupos possui seis partículas elementares distintas, portanto, há um total de 12 férmions. Todos eles possuem *spin* semi-inteiro ($\frac{1}{2}$ ou $\frac{3}{2}$).

A características dos quarks

No Modelo-padrão temos a existência de seis tipos de *quarks*: *up* (*u*), *down* (*d*), *charm* (*c*), *strange* (*s*), *top* (*t*) e *bottom* (*b*). Podemos diferenciar cada um deles a partir de algumas características fundamentais.

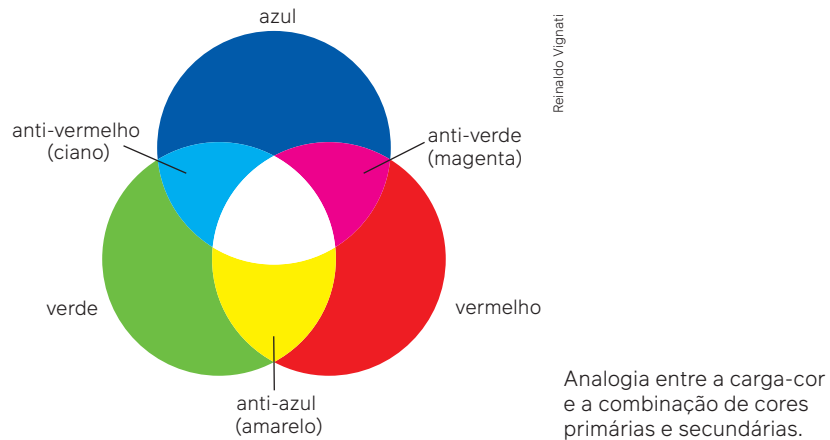
Carga dos quarks: os *quarks* possuem cargas positivas e negativas que são múltiplas não inteiras da carga do elétron e podem ser iguais à $\frac{2}{3}$ ou $-\frac{1}{3}$ da carga do elétron. Os *quarks up*, *charm* e *top* possuem carga igual a $\frac{2}{3}$, enquanto os *down*, *strange* e *bottom* possuem carga igual a $-\frac{1}{3}$.

Massa dos quarks: os *quarks* são partículas que nunca são encontradas sozinhas na natureza. Esses conjuntos de *quarks* possuem nomes específicos. Existem os mésons (conjunto de dois *quarks*), os bárions (conjunto de três *quarks*) e os hádrons (o conjunto dos mésons e dos bárions). Uma consequência da não existência isolada dos *quarks* é que sua massa só pode ser medida de maneira indireta a partir da interação dessa partícula com outras na formação dos hádrons. Assim, quando falamos da massa dos *quarks*, a compreensão do seu significado deve ser diferente do que entendemos como massa para as outras partículas.

Representação dos <i>quarks</i> no Modelo-padrão. Observe os valores da massa, da carga elétrica e do <i>spin</i> indicados na imagem. Fonte: INTRODUÇÃO ao modelo-padrão. In: UFABC. Santo André, [20--]. Disponível em: https://neutrinos.prog.ufacb.edu.br/index.php/situando/modelo-padrao/ . Acesso em: 1 set. 2024.	QUARKS	massa	$\approx 2,2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1,28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173,1 \text{ GeV}/c^2$
		carga	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
		<i>spin</i>	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
		u	c	t	
		<i>up</i>	<i>charm</i>	<i>top</i>	
		d	s	b	
<i>down</i>	<i>strange</i>	<i>bottom</i>			

Carga-cor dos quarks: O motivo pelo qual os *quarks* não são encontrados isolados tem como explicação o fenômeno chamado de confinamento de cor. Para entendê-lo, vamos estudar primeiramente o que é a carga-cor, também chamada de carga de cor. Esse conceito é utilizado para descrever propriedades quânticas dos *quarks* e pode ser classificado em três categorias: **vermelho**, **verde** e **azul**. Essa nomenclatura não quer dizer que os *quarks* de fato sejam coloridos, é apenas uma convenção adotada para a classificação. Cada *quark* possui uma dessas carga-cor, enquanto suas antipartículas possuem as cargas-cores complementares: **ciano**, **magenta** e **amarelo**, respectivamente.

O confinamento de cor pode ser compreendido a partir da combinação da carga-cor de um *quark* com os outros, de tal forma que a junção sempre resulte na carga-cor branca (nula), seguindo as mesmas regras da combinação de cores. Assim, como um único *quark* nunca resultará na carga-cor branca, eles não podem ser encontrados isolados. Para além disso, as combinações de *quarks* só são possíveis se respeitarem a resultante de carga-cor nula.

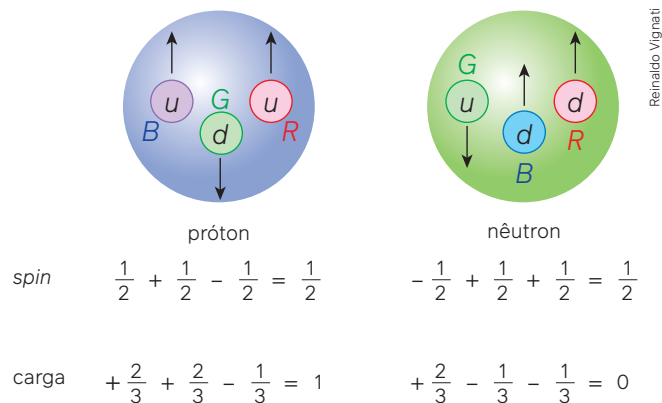


Um outro aspecto importante para a combinação dos *quarks* para a formação dos mésons e dos bárions é que a soma das cargas deve ser um número inteiro que pode variar entre -2 a +2. O quadro a seguir apresenta alguns hádrons possíveis a partir das combinações dos *quarks*.

Alguns bárions e mésons e sua estrutura de <i>quarks</i>			
Bárions	Estrutura	Mésons	Estrutura
p (próton)	<i>uud</i>	π^+ (pi mais)	$\bar{d}u$
n (nêutron)	<i>udd</i>	π^0 (pi zero)	$\bar{u}u/\bar{d}d$
Ω^- (ômega menos)	<i>sss</i>	π^- (pi menos)	$\bar{u}d$
Σ^+ (sigma mais)	<i>uus</i>	J/ψ (jota psi)	$\bar{c}c$
Σ^0 (sigma zero)	<i>uds</i>	k^- (kappa menos)	$\bar{u}s$
Σ^- (sigma menos)	<i>dds</i>	k^0 (kappa zero)	$\bar{s}d$

Fonte: MOREIRA, M. A. A física dos quarks e a epistemologia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [s. l.], v. 29, p. 161-173, 2007.

Note que os prótons e os nêutrons não são partículas elementares, mas sim bárions, uma vez que são formados por três *quarks*. Ambos respeitam a resultante nula da carga de cor e podemos chegar ao valor das cargas elétricas conhecidas dos prótons e dos nêutrons a partir da soma das cargas de cada um dos *quarks*



Formação dos prótons e nêutrons a partir dos *quarks*. As setas nos *quarks* indicam os *spins*, para cima positivo, e para baixo negativo. O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Características dos léptons

A palavra lépton tem origem grega e está relacionada ao atributo de ser leve ou pequeno, o que tem relação com a massa dessas partículas quando comparada com outras como os *quarks* em especial o elétron, que é muito leve. Assim como os *quarks*, há seis tipos de léptons: o elétron, o múon, o tau e seus respectivos neutrinos. Os neutrinos são os léptons que possuem carga neutra, enquanto as outras três possuem carga negativa.

LÉPTONS	massa $\approx 0,511 \text{ MeV}/c^2$	massa $\approx 105,66 \text{ MeV}/c^2$	massa $\approx 1,7768 \text{ GeV}/c^2$
	carga -1	carga -1	carga -1
	spin $1/2$	spin $1/2$	spin $1/2$
	elétron	múon	tau
	$< 1,0 \text{ eV}/c^2$	$< 0,17 \text{ MeV}/c^2$	$< 18,2 \text{ MeV}/c^2$
0	0	0	
$1/2$	$1/2$	$1/2$	
neutrino do elétron	neutrino do múon	neutrino do tau	

Reinaldo Vignati

Representação dos léptons no Modelo-padrão. Observe os valores da massa, da carga elétrica e do *spin* indicados na imagem.

Fonte: INTRODUÇÃO ao modelo-padrão. In: UFABC. Santo André, [20--]. Disponível em: <https://neutrinos.propg.ufabc.edu.br/index.php/situando/modelo-padrao/>. Acesso em: 1 set. 2024.

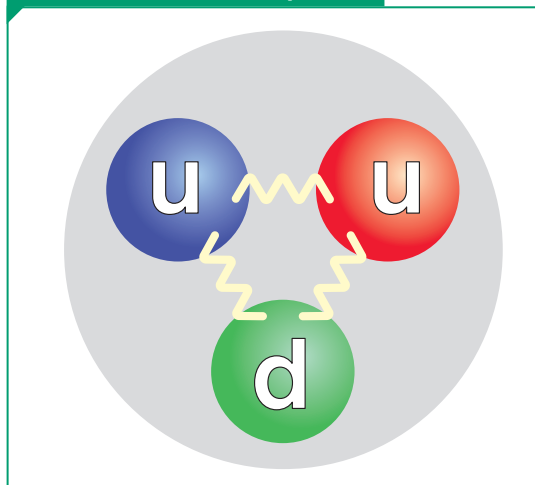
As forças fundamentais e os bósons

Além dos férmions, que englobam os *quarks*, os léptons e as partículas derivadas deles, existem os bósons, que são as partículas mediadoras das forças fundamentais da natureza de acordo com o Modelo-padrão. Existem quatro forças fundamentais: a forte, a fraca, a eletromagnética e a gravitacional. Os bósons são partículas que realizam a mediação dessas forças, são eles: o glúon, o fóton, o bóson Z e o bóson W. O glúon e o fóton possuem massa e carga nula e *spin* igual a 1. Já os bósons intermediários (os bósons W e Z) possuem massa não nula e *spin* igual a 1. O bóson Z tem carga nula, e o bóson W tem carga igual -1 ou $+1$.

Na Física Clássica, descrevamos as interações a partir dos conceitos de força e campo. Na Física de Partículas, os bósons fazem parte do papel desses conceitos. Um exemplo é a explicação da repulsão e atração das partículas. A repulsão de partículas com cargas iguais, como os prótons e os elétrons, é explicada pela emissão de um bóson, no caso, o fóton. A força fundamental relacionada a esse processo é a eletromagnética, uma vez que o fóton é o bóson mediador dessa interação, portanto, é importante ressaltar que os fótons terão interação apenas com partículas carregadas, sendo absorvidos ou emitidos por essas partículas. Como exemplo, os neutrinos não seriam capazes de interagir com os fótons, uma vez que possuem carga elétrica neutra.

Já a interação entre os três *quarks* que formam um próton, por exemplo, é explicada a partir da força forte, interação mediada pelos glúons. Note que, de todas as forças fundamentais, as mediadas pelos glúons são as de maior magnitude, por isso são chamadas de força forte. Essas partículas são capazes de garantir que partículas de mesma carga permaneçam confinadas e coesas nas estruturas de mésons ou bárions.

Estrutura interna do próton



Reinaldo Vignati

O esquema está representado com cores-fantasia e as dimensões das estruturas não seguem a proporção real.

Representação de um próton. Na imagem temos dois *quarks up* e um *quark down*. As linhas onduladas representam os glúons.

Fonte: INTRODUÇÃO ao modelo-padrão. In: UFABC. Santo André, [20--]. Disponível em: <https://neutrinos.prog.ufabc.edu.br/index.php/situando/modelo-padrao/>. Acesso em: 1 set. 2024.

A interação fraca é mediada pelos bósons W e Z, e as partículas que interagem com esses bósons são os *quarks* e os léptons. Esses bósons são o que explicam fenômenos como o decaimento radioativo.

Note que, até agora, utilizamos os quatro bósons mencionados para a explicação de apenas três forças fundamentais, faltando a partícula mediadora da força gravitacional. O gráviton é a partícula que supostamente seria a mediadora da força gravitacional, no entanto, ela ainda não foi observada experimentalmente, portanto, não faz parte do Modelo-padrão.

Como a Física de Partículas é uma área da Física que está em um desenvolvimento complexo e dinâmico, por vezes observamos a proposição teórica de uma partícula, mas que ainda não foi detectada. O bóson de Higgs é um exemplo dessa situação: a partícula foi prevista, em 1964, pelo físico britânico Peter Higgs (1929-2024), mas só foi observada experimentalmente em 2012. Ele foi teorizado como a partícula que seria responsável por conferir parte da explicação do motivo da diferenciação de massas das partículas.

massa
carga
spin

0	g	glúon
0		
1		

$\approx 124,97 \text{ GeV}/c^2$	H	bóson de Higgs
0		
1		

0	γ	fóton
0		
1		

$\approx 91,19 \text{ GeV}/c^2$	Z	bóson Z
0		
1		

$\approx 80,39 \text{ GeV}/c^2$	W	bóson W
± 1		
1		

Reinaldo Vignati

Representação dos bósons no Modelo-padrão.

Fonte: INTRODUÇÃO ao modelo-padrão. In: UFABC. Santo André, [20--]. Disponível em: <https://neutrinos.prog.ufabc.edu.br/index.php/situando/modelo-padrao/>. Acesso em: 1 set. 2024.

A partir dos valores da massa, da carga elétrica e do *spin* indicados na imagem dos bósons apresentada na página anterior, podemos produzir um quadro que sistematiza algumas das principais características e interações dos bósons.

Partícula	Carga	Medeia	Interage com
Glúon	0	Força forte	<i>Quarks</i>
Fóton	0	Força eletromagnética	Quarks e léptons com carga elétrica
Bóson Z	± 1	Força fraca	<i>Quarks</i> e léptons
Bóson W	0	Força fraca	<i>Quarks</i> e léptons

Fonte: ABDALLA, M. C. B. *O discreto charme das partículas elementares*. São Paulo: Unesp, 2006.

Atividades propostas



1. Considerando apenas a carga de cor dos *quarks*, quais seriam as possíveis combinações para produção de um méson?
2. Considerando apenas a carga de cor dos *quarks*, quais seriam as possíveis combinações para produção de um bárion?
3. Assinale a alternativa que apresenta apenas partículas elementares:
 - a) Nêutron, *quark up* e neutrino.
 - b) Elétron, neutrino e próton.
 - c) Elétron, próton e nêutron.
 - d) Elétron, neutrino e múon.
 - e) Próton, neutrino e múon.

4. Leia o texto a seguir:

O final da década de 1940 foi uma época muito movimentada para a ciência brasileira, marcada por acontecimentos que alavancaram a Física experimental do Brasil nos anos seguintes. Entre grandes avanços no entendimento sobre as forças que mantêm o Universo como o conhecemos, Prêmios Nobel e o domínio de tecnologias capazes de recriar as condições de dentro de estrelas, no centro desta rede de grandes eventos estava uma pequena partícula, o **méson pi**.

Na época, uma das grandes questões da Física estava intimamente ligada à existência do próprio átomo, cujo núcleo é formado por prótons e nêutrons: como essas partículas poderiam manter-se unidas no núcleo? Prótons possuem cargas positivas, portanto, deveriam se repelir, enquanto nêutrons não possuem cargas positivas nem negativas, portanto não contribuem para a interação. Para explicar este dilema, o físico japonês Hideki Yukawa propôs a teoria para a existência de uma nova partícula, o méson pi, na década de 1930. Essa partícula seria responsável por mediar a interação entre prótons e nêutrons dentro do átomo, permitindo que permaneçam unidas. No final da década seguinte, a existência do méson pi seria comprovada graças a um trabalho que contou com o protagonismo do físico curitibano César Lattes. [...]

A PARTÍCULA que acelerou a ciência no Brasil. *ICTP-SAIFR*, São Paulo, [20--]. Disponível em: <https://outreach.ictp-saifr.org/particulas-meson-pi/>. Acesso em: 5 set. 2024.

Considere dois tipos diferentes de mésons *pi*. Um deles é formado por um *quark up* e um *quark anti down* ($u\bar{d}$). O outro é formado por um *quark down* e um *quark anti up* ($d\bar{u}$). A partir desses aspectos, qual é a diferença entre esses mésons, considerando suas cargas elétricas?



Podcast

Pesquisando o invisível: o trabalho de César Lattes

Contribuições do Modelo-padrão para a compreensão do Universo

[...] Estrelas, planetas, cometas, poeira cósmica e outras formas ordinárias de matéria parecem constituir aproximadamente 5% da massa do universo. Os outros 95% seriam de “matéria escura” e “energia escura” [...] Astrônomos há décadas buscam registros da existência da matéria escura e, aparentemente, estão convencidos de que ela existe, mas a evidência obtida não é, ainda, de todo convincente. Há alguns anos os físicos de partículas passaram a participar do esforço dos astrônomos tentando detectar, experimentalmente, partículas de matéria escura. É uma tarefa, em princípio, muito difícil, que conduz a um dilema análogo ao do bóson de Higgs: ou se as detecta e verifica-se que a matéria escura existe ou as teorias que subjazem à física moderna terão que ser modificadas.

A hipótese da matéria escura está ligada à questão de se o universo continuará em expansão ou se esta diminuirá e será revertida levando eventualmente a um período de contração. Essa questão está relacionada a outra: quanta massa existe no universo? Dependendo da quantidade, a expansão poderá ser revertida e, inclusive, ocorrer um “*Big Crunch*”. [...]

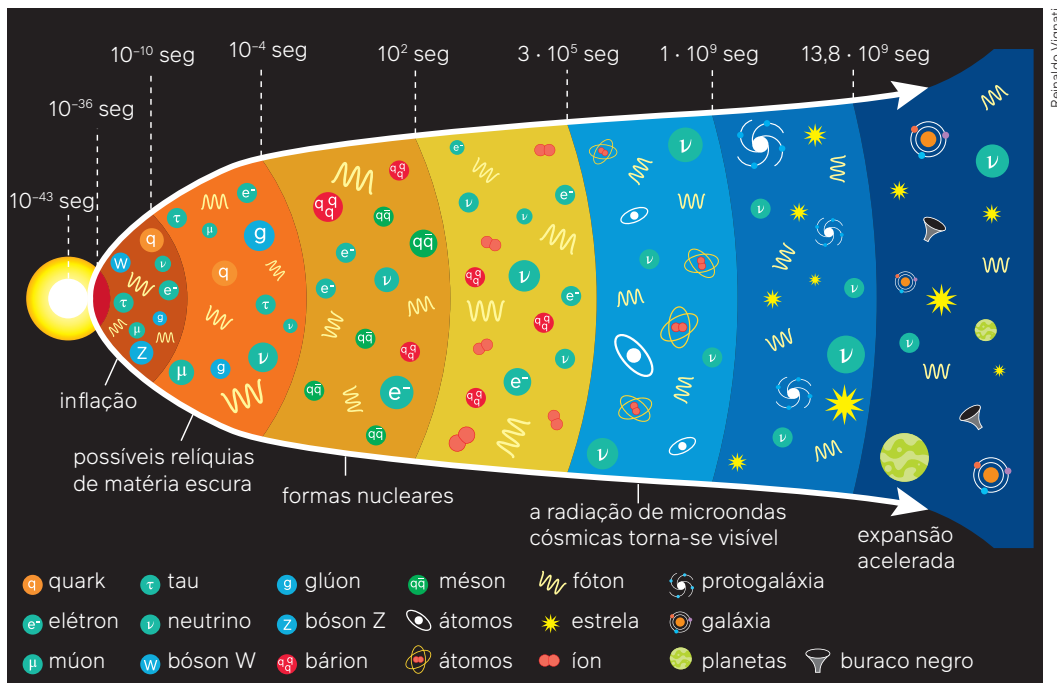
[...] Estimando a massa do universo a partir da matéria visível, o resultado seria [...] muito pequeno e teríamos o chamado universo aberto. No entanto, há evidências experimentais, ainda que não totalmente convincentes, sobre a existência de uma matéria escura que permearia o universo. Combinando a massa da matéria observável com a massa estimada da matéria escura, o resultado é bastante próximo da “massa crítica”, deixando ainda aberta a questão de se o universo continuará em expansão ou acabará se contraindo.

Neutrinos eram fortes candidatos porque deve haver no universo uma enorme quantidade dessas partículas elusivas resultantes do *Big Bang*, os chamados neutrinos primordiais, produzidos nos primeiros segundos de *Big Bang*. Na verdade, seriam candidatos ideais se não fosse o problema de sua massa ser muito pequena. Mesmo existindo em abundância contribuiriam com uma pequena fração da matéria escura.

Na verdade, nenhuma das partículas do Modelo Padrão responde à pergunta da constituição da matéria escura. Consequentemente, tentativas de extensões do Modelo Padrão estão sendo feitas. Uma delas é a da Supersimetria, a qual pressupõe a existência de toda uma nova família de partículas: cada partícula elementar do Modelo Padrão teria uma “superparceira” mais pesada. Sendo mais pesadas, essas partículas seriam, portanto, mais lentas do que as partículas conhecidas, constituindo, então, o que se poderia chamar de matéria escura “fria”. Destas, uma possibilidade atraente para físicos e astrônomos é o neutralino, uma amálgama das superparceiras do fóton, do bóson Z (que transmite a força fraca) e talvez de partículas de outros tipos.

O neutralino seria a mais leve das superpartículas; como sugere o nome, teria carga elétrica zero (portanto, não afetada por forças eletromagnéticas) e seria estável. Sua estabilidade e neutralidade associadas a uma determinada massa, satisfariam todos os requisitos da matéria escura fria.

A teoria do *Big Bang* permite uma estimativa do número de neutralinos que teriam sido criados no plasma quente inicial do universo. Esse plasma era uma sopa caótica de todos os tipos de partículas, nenhuma das quais sobreviveu por muito tempo: imediatamente colidiam com outras partículas aniquilando-se mutuamente e produzindo novas partículas que também colidiam com outras e assim por diante em um processo cíclico de criação e destruição. Mas à medida que o universo esfriava e se tornava menos denso as colisões eram menos violentas e menos frequentes, permitindo que as partículas condensassem



Reinaldo Vignati

Representação para a Teoria do Big Bang e partículas.

Fonte: Beatriz Abdalla/Jornal da USP.

progressivamente. O neutralino seria uma partícula menos propensa a colisões de modo que teria sido uma das primeiras a condensar. Então, nesse período teria sido produzida uma imensa quantidade de neutralinos cuja massa total corresponde bastante bem com a massa estimada de matéria escura existente no universo.

Teoricamente, então, a existência do neutralino resolve o problema da matéria escura. Consequentemente é preciso detectá-lo. Mas para isso é necessário saber como interage com a matéria normal. Se a interação for apenas a gravitacional, não há esperanças de detectá-lo pois a força gravitacional é a mais fraca de todas no domínio das partículas elementares. No entanto, a teoria da supersimetria prevê que o neutralino interagiria com a matéria através da força nuclear fraca. Se assim for, há possibilidades de detectá-lo pois embora a força seja fraca o número previsto de partículas é imenso. Como foi dito no início desta seção, a matéria escura é dominante no universo. Sendo escura não emite radiação, não perde energia e não se aglomera para formar estrelas e planetas. Quer dizer, a matéria escura permeia o espaço interestelar como se fosse um gás. Seria um gás estagnado, ou seja, as partículas que o constituem se moveriam, mas aleatoriamente, sem movimento organizado. No entanto, como nosso sistema solar está orbitando em torno do centro de nossa galáxia a 220 km por segundo estaríamos sofrendo o impacto de um “vento escuro” que segundo estimativas dos cientistas seria da ordem de um milhão de partículas escuras por metro quadrado por segundo.

Há pelo menos uma dezena de laboratórios tentando detectar o neutralino desde 1997. Além da dificuldade inerente ao fato de que a interação da matéria escura com a matéria comum é fraca, há o problema de que os detectores, sendo construídos de metal, contêm traços radioativos de elementos como urânio e tório que decaem produzindo partículas que são confundidas com partículas escuras. A dificuldade não é tanto de sensibilidade, mas de impureza intrínseca aos detectores. [...]

Até meados dos anos setenta a física de partículas e a cosmologia eram áreas de pesquisa completamente separadas, porém, nessa época, [...] pesquisadores em física de partículas se deram conta que estudos sobre os primórdios do universo ofereciam uma possibilidade única de investigar fenômenos de alta energia que não podiam ser recriados em laboratório. Surgiu assim a cosmologia de partículas, uma híbrida e altamente promissora em física. [...]

MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 1306.1-1306.11, 2009.

Trocando ideias

1. De acordo com o texto, em que medida podemos dizer que a compreensão sobre o Modelo-padrão auxilia no entendimento sobre a evolução do Universo?
2. O texto menciona o questionamento sobre a existência da matéria escura (ou matéria não bariônica) e da energia escura. O que são elas e qual relação que possuem com o Modelo-padrão da Física de Partículas?

Aceleradores de partículas

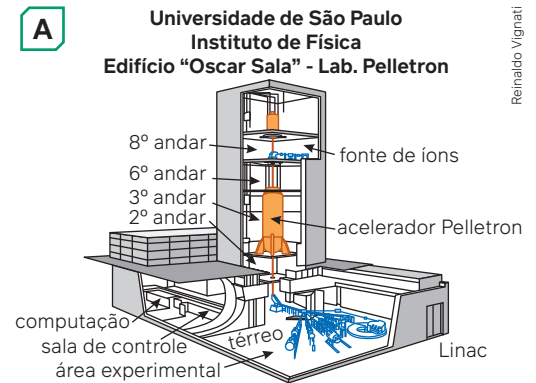
Para que o estudo experimental sobre as partículas e suas características seja viável, é essencial o uso de aceleradores de partículas. Esses equipamentos são projetados com o propósito de impulsionar diferentes partículas e núcleos atômicos a velocidades extremamente próximas à velocidade da luz. Isso é feito com o objetivo de gerar colisões entre eles, já que a partir desses eventos, são liberadas grandes quantidades de energia, permitindo que diferentes propriedades da matéria e das partículas que a constituem sejam evidenciadas de maneira experimental.

A dificuldade para a construção desses equipamentos é muito elevada. A nível de comparação, pense que a escala que estudamos para a construção dos microscópios eletrônicos, por exemplo, varia entre 10^{-4} e 10^{-10} m. A escala de detecção que os aceleradores de partículas são capazes de atingir está na ordem de 10^{-16} m. Associado à escala, também há a dificuldade para acelerar as partículas a valores próximos à velocidade da luz, portanto, é de se esperar que a construção desse tipo de equipamento não seja barata. Para termos noção dos valores, o *Large Hadron Collider* (LHC; em português, Grande Colisor de Hádrões) demorou oito anos para ser construído e precisou de um investimento de 6 bilhões de dólares, com a participação de 20 países.

Os aceleradores de partículas podem ser projetados para que as partículas sigam dois tipos distintos de trajetórias: retilíneas ou circulares. Nos aceleradores lineares, a aceleração das partículas ocorre devido à presença de um campo elétrico gerado pela aplicação de uma diferença de potencial elétrico ao longo das extremidades da trajetória. Já nos aceleradores circulares, conhecidos como síncrotrons ou ciclotrons, as partículas são conduzidas em uma trajetória circular por um campo magnético, enquanto um campo elétrico adicional as acelera. Os aceleradores circulares apresentam certas vantagens em relação aos lineares, como a capacidade de aplicar múltiplos impulsos às partículas a cada volta, facilitando o aumento de sua velocidade sem a necessidade de uma longa distância para isso, característica dos aceleradores lineares. Ademais, há um aumento nas chances de colisões nos aceleradores circulares, devido à maior probabilidade de cruzamento das partículas.

No Brasil, existem vários aceleradores de partículas utilizados para pesquisa científica avançada. Um exemplo é o acelerador do Laboratório Pelletron, do Instituto de Física da Universidade de São Paulo. Outro exemplo de destaque é o Sirius, localizado em Campinas (São Paulo), vinculado ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) e associado ao Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM).

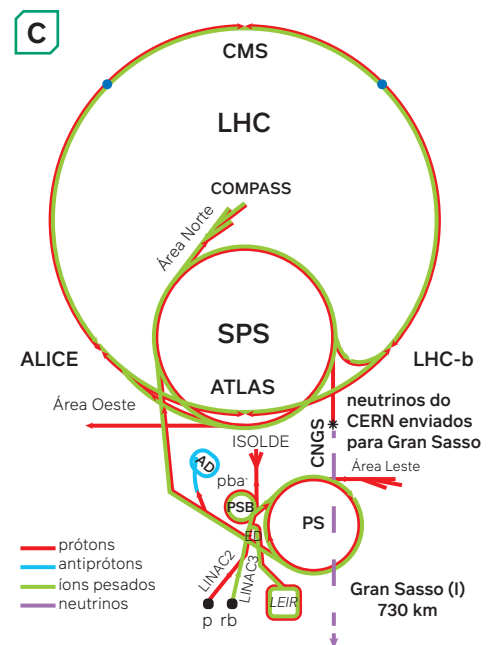
Mundialmente, a Organização Europeia para a Investigação Nuclear (CERN, do francês, *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*, atual *Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire*) é o maior laboratório de pesquisa em Física de Partículas. Fundado em 1954, é composto por seis aceleradores de partículas.



Reinaldo Vignati



Edson Grandisoli/Pulsar Imagens



Reinaldo Vignati

A: acelerador de partículas do IFUSP; B: acelerador de partículas Sirius; C: esquema dos aceleradores de partículas do CERN.



- (Fuvest-SP – 2010) Um consórcio internacional, que reúne dezenas de países, milhares de cientistas e emprega bilhões de dólares, é responsável pelo *Large Hadrons Collider* (LHC), um túnel circular subterrâneo, de alto vácuo, com 27 km de extensão, no qual eletromagnetos aceleram partículas, como prótons e antiprótons, até que alcancem 11 000 voltas por segundo para, então, colidirem entre si. As experiências realizadas no LHC investigam componentes elementares da matéria e reproduzem condições de energia que teriam existido por ocasião do *Big Bang*.
 - Calcule a velocidade do próton, em km/s, relativamente ao solo, no instante da colisão.
 - Calcule o percentual dessa velocidade em relação à velocidade da luz, considerada, para esse cálculo, igual a 300 000 km/s.
 - Além do desenvolvimento científico, cite outros dois interesses que as nações envolvidas nesse consórcio teriam nas experiências realizadas no LHC.
- (FGV-SP – 2012) Os aceleradores de partículas são equipamentos que fornecem energia a feixes de partículas subatômicas eletricamente carregadas. Todos os aceleradores de partículas possibilitam a concentração de alta energia em pequeno volume e em posições arbitradas e controladas de forma precisa. Exemplos comuns de aceleradores de partículas existem nas televisões e geradores de raios-X, na produção de isótopos radioativos, na radioterapia do câncer, na radiografia de alta potência para uso industrial e na polimerização de plásticos.

(Fonte: <https://explicatorium.com/fisica/acelerador-de-particulas.html>. Acesso em: 26/10/2012)

Dentre as partículas subatômicas, aquela que apresenta carga negativa é denominada:

- próton
 - nêutron
 - elétron
 - partícula alfa
 - partícula gama
- (Vunesp – 2013) Nos aceleradores de partículas, ao serem aceleradas, as partículas são forçadas a mudar de velocidade, mudar de direção ou atingir alvos; elas acabam energia. Essa energia geralmente está na forma de radiação, como raios-X ou raios gama. Além da radiação, as próprias partículas energizadas apresentam perigo para a saúde humana. Para evitar vazamento de radiação enquanto os aceleradores estão operando, eles são

Assinale a alternativa que completa, correta e respectivamente, as lacunas do texto.

- perdendo ... ionizante ... blindados
 - ganhando ... ionizante ... blindados
 - perdendo ... não ionizante ... blindados
 - ganhando ... não ionizante ... desblindados
 - perdendo ... ionizante ... desblindados
- (Unesp – 2020) A sensibilidade visual de humanos e animais encontra-se dentro de uma estreita faixa do espectro da radiação eletromagnética, com comprimentos de onda entre 380 nm e 760 nm. É notável que os vegetais também reajam à radiação dentro desse mesmo intervalo, incluindo a fotossíntese e o crescimento fototrópico. A razão para a importância dessa estreita faixa de radiação eletromagnética é o fato de a energia carregada por um fóton ser inversamente proporcional ao comprimento de onda. Assim, os comprimentos de onda mais longos não carregam energia suficiente em cada fóton para produzir um efeito fotoquímico apreciável, e os mais curtos carregam energia em quantidade que danifica os materiais orgânicos.

(Knut Schmidt-Nielsen. *Fisiologia animal: adaptação e meio ambiente*, 2002. Adaptado.)

A tabela apresenta o comprimento de onda de algumas cores do espectro da luz visível:

Cor	Comprimento de onda (nm)
Azul	450 – 495
Verde	495 – 570
Amarela	570 – 590
Laranja	590 – 620
Vermelha	630 – 750

Sabendo que a energia carregada por um fóton de frequência f é dada por $E = h \cdot f$ em que $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, que a velocidade da luz é aproximadamente $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ e que $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$, a cor da luz cujos fótons carregam uma quantidade de energia correspondente a $3,96 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ é

- azul.
- verde.
- amarela.
- laranja.
- vermelha.

Origens: os primeiros dias do CERN

François de Rose relembra as primeiras discussões que levaram ao nascimento do CERN

Em 1946, uma comissão do Conselho de Segurança das Nações Unidas foi incumbida da tarefa de apresentar propostas para colocar a energia atômica sob controle internacional. Passou-se um ano após a devastação de Hiroshima, e a ideia de tal controle tinha sido aprovada por todos os governos. A comissão era composta por cientistas influentes, que possuíam o conhecimento necessário para compreender plenamente o problema e envolver políticos e diplomatas que representavam os interesses dos governos. Foi nesta qualidade de diplomata que representei a França na comissão e pude estabelecer relações de confiança e de amizade com muitos dos meus compatriotas que eram cientistas, bem como com cientistas estrangeiros, entre os quais estava em primeiro lugar Robert Oppenheimer, que iria desempenhar um papel muito importante na criação do CERN.

No decurso das muitas conversas que tive com Oppenheimer nos EUA, nas quais nos juntamos frequentemente outros franceses, que eram meus conselheiros científicos e técnicos, ele confidenciou as suas preocupações sobre o futuro desenvolvimento da física fundamental na Europa. “Quase tudo o que sabemos, aprendemos na Europa” é a essência do que disse.

Ele próprio foi aluno de Niels Bohr em Copenhague. “Mas, no futuro”, continuou ele, “a investigação exigirá recursos industriais, técnicos e financeiros que estarão para além dos meios de cada país europeu. Será, portanto, necessário unir forças para reunir todos os seus recursos. Fundamentalmente, seria prejudicial se os cientistas europeus fossem obrigados a ir aos EUA ou à União Soviética para realizar as suas pesquisas”.

No início de 1950, convencidos por este argumento, Francis Perrin, então alto-comissário para a energia atômica em Paris, e eu começámos a visitar os principais centros de investigação europeus que precisariam de ser persuadidos. Tivemos uma resposta favorável de Edoardo Amaldi, na Itália, de Niels Bohr em Copenhague, de Paul Scherrer, na Suíça, e, possivelmente, de Werner Heisenberg, na Alemanha, se bem me lembro, mas tivemos uma recepção mais fria noutras capitais; no entanto, a ideia estava agora sobre a mesa, e sem dúvida começava a criar raízes na mente das pessoas. Além disso, veio juntar-se a um apelo semelhante do Centro Europeu para a Cultura em Genebra, liderado por Denis de Rougemont, da Suíça, e Raoul Dautry, da França. Foi então que Isidor Rabi, vencedor do Prémio Nobel, fez o seu discurso crucial na Conferência Geral da UNESCO em Florença, em junho de 1950. Falando em nome dos EUA, ele disse mais ou menos a mesma coisa que Oppenheimer nos dissera em privado.

Este discurso marcou um ponto de viragem definitivo, persuadindo a maioria dos cientistas europeus e os seus governos a adoptar uma resolução autorizando a UNESCO a “apoiar e encorajar a formação e organização de centros e laboratórios regionais, a fim de aumentar e tornar mais frutuosa a colaboração internacional de cientistas”. Pierre Auger, diretor das ciências naturais da UNESCO, tomou as rédeas do assunto e, no final de 1951, conseguiu organizar uma conferência de todos os cientistas e representantes governamentais europeus, à qual tive a honra de presidir e na qual foi decidido estabelecer o Conselho Europeu para a Investigação Nuclear.

As ideias fundamentais, nomeadamente os objetivos que todos os pioneiros do que viria a ser o CERN se propuseram, consistiram antes de mais na promoção da cooperação europeia nesta área vital. O CERN foi, portanto, o primeiro empreendimento em escala europeia e posso dizer que Robert Schuman, que era então ministro dos Negócios Estrangeiros francês e um dos pais fundadores da Europa, foi imediatamente a favor dele. Um segundo objetivo era reintroduzir a total liberdade de comunicação e a partilha de conhecimento neste ramo da ciência.

Deve-se compreender que, na sequência de Hiroshima, as pessoas tinham medo da ciência e da ciência nuclear em particular. “Os físicos conheceram o pecado”, disse Oppenheimer, e a consequência da utilização do trabalho dos cientistas para fins militares foi a imposição do sigilo e a falta de comunicação entre os centros de investigação. Ao adoptar imediatamente a abordagem oposta à investigação fundamental nos seus estatutos, o CERN estava a seguir a grande tradição da ciência sem fronteiras. As ambições destes pioneiros foram mais do que concretizadas, uma vez que o CERN é hoje o lar de cientistas de todo o mundo, incluindo dos EUA, China, Japão e Rússia, todos trabalhando juntos e em equipes na mesma investigação, cujos resultados são publicados na íntegra.

Outra das minhas lembranças diz respeito à extensão do site do CERN para a França. Após a construção do Síncrotron de Prótons de 28 GeV, logo ficou claro que, no estilo consagrado pelo tempo, este era apenas um modelo em escala de máquinas mais poderosas que estavam por vir. A área que a Suíça conseguiu reservar para o CERN não pôde ser ampliada do lado suíço. Felizmente, o local ficava ao longo da fronteira com a França e

as terras naquela área eram essencialmente utilizadas para agricultura. A continuação e desenvolvimento das atividades do CERN estavam, portanto, dependentes da extensão do local a França, exigindo assim que uma parcela de cerca de 500 hectares de terras francesas fosse colocada à disposição de uma organização internacional com sede na Suíça. Preparei um dossiê, que foi apresentado ao então presidente francês, General de Gaulle, pelo ministro das Relações Exteriores, Maurice Couve de Murville. Foi assim que o CERN se tornou – e penso que continua a ser até hoje – o único centro de investigação situado na fronteira de dois países.

ORIGINS: the early days of CERN. *CERN Courier*, [Genebra], v. 44, n. 8, p. 74, out. 2004. Viewpoint. Disponível em: <https://cerncourier.com/a/viewpoint-origins-the-early-days-of-cern-2/#:~:text=1946%20a%20commission%20of%20the,approved%20by%20all%20the%20governments>. Acesso em: 5 set. 2024. (Tradução nossa).

Trocando ideias



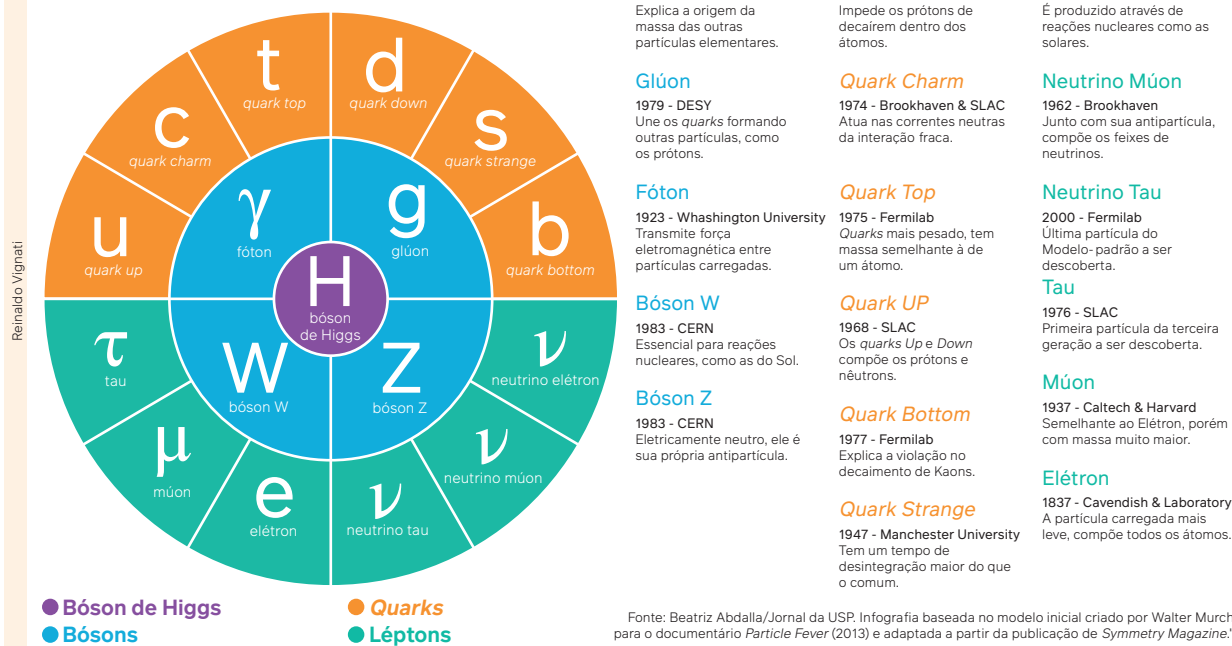
- O texto que você leu foi produzido por François de Rose. Pesquise quem foi ele e quais foram suas principais contribuições.
- Há um trecho do texto que diz: “Deve-se compreender que, na sequência de Hiroshima, as pessoas tinham medo da Ciência e da ciência nuclear em particular. ‘Os físicos conheceram o pecado’, disse Oppenheimer”. O que Oppenheimer quis dizer com a frase destacada?

Recapitule

Neste capítulo, entramos em contato com o universo da Física de Partículas a partir da compreensão do Modelo-padrão e das características das partículas que o constituem. Para tanto, dividimos as partículas em férmions, que estão relacionados à composição da matéria, e os bósons, partículas que realizam a mediação das forças fundamentais da natureza: eletromagnética, forte, fraca e gravitacional. Estudamos também que o bóson de Higgs confere massa às diferentes partículas, e que há uma partícula teórica, o gráviton, que, supostamente, está por trás da explicação sobre a força gravitacional, mas que ainda não foi verificado experimentalmente. Posteriormente, estudamos os aceleradores de partículas, compreendendo sua importância. Neste ponto, conhecemos o CERN e seus diferentes aceleradores.

Agora, retome as questões que constam na abertura do capítulo, no box **Para refletir**. Com base no que você aprendeu, como responderia a essas questões? Você alteraria alguma resposta?

Modelo-padrão



Sistematização de anos de descobertas importantes para cada uma das partículas do Modelo-padrão.

Noções de Física Moderna e Contemporânea

Você certamente já estudou sobre as máquinas térmicas, cuja introdução aconteceu no século XX, iniciando um processo que modificaria profundamente a sociedade e o modo de vida das pessoas. Mas você sabe dizer o que isso tem a ver com as transformações nos processos produtivos e no desenvolvimento das cidades? Consegue identificar alguns “descendentes” dessas máquinas em sua vida cotidiana?

Um exemplo de como ocorreu esse desenvolvimento está nas plantações, local onde a utilização de máquinas possibilitou a realização do trabalho de forma mais rápida, dispensando grande parte dos trabalhadores que exerciam suas tarefas de forma manual, como no caso do “automóvel” (aquele que se move sozinho), nascido como uma carroça a vapor com autonomia de trabalho de várias horas, tendo o carvão como combustível. Pouco tempo depois da sua criação, essa máquina se tornaria não apenas o ponto de partida para o desenvolvimento do transporte individual como contribuiria para criar um motivo para deslocar-se cotidianamente.



The Hollywood Archive/Avatony/
Easy Mediabank

Cena do filme *Tempos modernos*, de 1936, idealizado por Charles Chaplin.

Enquanto os postos de trabalho reduziam no campo, nas regiões urbanas, as indústrias se multiplicavam rapidamente, abrindo vagas de trabalho pouco especializado e atraindo camponeses, apesar dos salários baixos e das péssimas condições de trabalho. Com esse movimento, aumentava cada vez mais a população urbana. Os novos moradores, aglomerados nas zonas industriais, primeiro instalados em apartamentos em cima do próprio comércio ou em cortiços, foram levados a aceitar distâncias cada vez mais longas até o local de trabalho, o que demandou o surgimento do transporte coletivo. Os primeiros ônibus carregavam até 12 pessoas e se pareciam com versões menos confortáveis das *vans* de hoje em dia. Uma forma que parte da sociedade encontrava para questionar esse novo estilo de vida que estava surgindo era através da arte, com produção de peças teatrais, músicas, filmes e livros que questionavam de forma direta ou indireta o modo como a sociedade estava se organizando; um exemplo é o clássico filme *Tempos modernos*, de 1936.

De que modo as expressões artísticas, como filmes, livros e peças de teatro, entre outras, podem nos ajudar a entender os desafios do mercado de trabalho contemporâneo? Que relação se estabelecia, naquele contexto, entre os seres humanos e as máquinas? Como esta relação acontece hoje em dia? Que lições podemos tirar dessa obra cinematográfica e de que maneira ela contribui para pensar sobre formas de trabalho mais justas e humanizadas para o futuro?

Agora é com você!

Planeje e produza uma história de ficção científica, explorando a sua visão sobre como a ciência e a tecnologia podem transformar o futuro da humanidade e do mundo do trabalho. Que soluções para os problemas enfrentados hoje elas podem trazer? Que problemas podem surgir por causa do seu uso? A sua produção pode ser apresentada como um texto, uma história em quadrinhos ou uma imagem.

Para inspirar-se, pense no modo como você realiza as tarefas hoje em dia, nos serviços e nos produtos que você e sua família costumam consumir e na automatização dos processos cada vez mais presente no cotidiano.

1. (UFPR – 2010) Entre as inovações da Física que surgiram no início do século XX, uma foi o estabelecimento da teoria da dualidade entre partículas e ondas. Assim, quando se faz um feixe de elétrons passar por uma fenda de largura micrométrica, o efeito observado é o comportamento da matéria, e quando fazemos um feixe de luz incidir sobre uma placa metálica, o efeito observado pode ser explicado considerando a luz como um feixe de partículas.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta de palavras para o preenchimento das lacunas nas frases acima.

- a) Relativística – partículas – ondulatório – partículas.
 b) Atomística – radiação – rígido – ondas.
 c) Quântica – partículas – ondulatório – partículas.
 d) Relativística – radiação – caótico – ondas.
 e) Quântica – partículas – ondulatório – ondas.
2. (UFRGS-RS) O dualismo onda-partícula refere-se a características corpusculares presentes nas ondas luminosas e a características ondulatórias presentes no comportamento de partículas, tais como elétrons. A natureza nos mostra que características corpusculares e ondulatórias não são antagônicas, mas, sim, complementares. Dentre os fenômenos listados, o único que não está relacionado com o dualismo onda-partícula é:
- a) o efeito fotoelétrico.
 b) a ionização de átomos pela incidência de luz.
 c) a difração de elétrons.
 d) o rompimento de ligações entre átomos pela incidência de luz.
 e) propagação, no vácuo, de ondas de rádio de frequência média.
3. (UFRGS-RS – 2015) O físico francês Louis de Broglie (1892-1987), em analogia ao comportamento dual onda-partícula da luz, atribuiu propriedades ondulatórias à matéria. Sendo a constante de Planck $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, o comprimento de onda de Broglie para um elétron (massa $m = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$) com velocidade de módulo $v = 2,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ é, aproximadamente,
- a) $3,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. d) $3,0 \cdot 10^9 \text{ m}$.
 b) $3,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}$. e) $3,0 \cdot 10^{10} \text{ m}$.
 c) $3,3 \cdot 10^3 \text{ m}$.
4. (Urca-CE – 2014) De acordo com as ideias de Louis de Broglie (década de 1920) uma partícula de massa

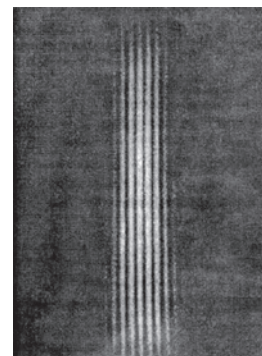
m e momento linear, ou quantidade de movimento, p possui uma onda associada de comprimento de onda $\lambda = \frac{h}{p}$ onde $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ joule} \cdot \text{segundo}$. O comprimento de onda de uma bola de 1 kg com velocidade de 1 m/s é

- a) $6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}$, que é uma energia muito pequena
 b) $6,6 \cdot 10^{-34} \text{ m}$, que é um valor muito inferior a escala atômica, e isto está relacionado com o fato de que não se observa diretamente efeitos ondulatórios (quânticos) de partículas materiais na escala macroscópica
 c) 7 quilogramas, portanto os fenômenos quânticos são significativos na escala macroscópica
 d) 6 m e, portanto, os efeitos quânticos são observados na escala macroscópica
 e) 6 kelvins, que é uma temperatura muito baixa, portanto no regime quântico
5. (Urca-CE – 2022) A energia E de um fóton (ou um quantum de radiação eletromagnética) se relaciona com sua quantidade de movimento p por $E = c \cdot p$, onde $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ é a velocidade da luz no vácuo. Por outro lado, essa energia se relaciona com a frequência f da radiação eletromagnética associada por $E = h \cdot f$, onde $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ é a constante de Planck. Tendo em vista estas considerações, podemos dizer que o comprimento de onda λ da radiação associada ao fóton é dado por
- a) $\lambda = c \cdot h \cdot p^2$
 b) $\lambda = c^2 \cdot h \cdot p$
 c) $\lambda = c \cdot h \cdot p$
 d) $\lambda = \frac{h}{p}$
 e) $\lambda = h \cdot p$

6. (UFRGS-RS – 2006) Mediante uma engenhosa montagem experimental, Thomas Young (1773-1829) fez a luz de uma única fonte passar por duas pequenas fendas paralelas, dando origem a um par de fontes luminosas coerentes idênticas, que produziram sobre um anteparo uma figura como a registrada na fotografia a seguir.

A figura observada no anteparo é típica do fenômeno físico denominado

- a) interferência.
 b) dispersão.
 c) difração.
 d) reflexão.
 e) refração.



UFRGS, 2006

- 7.** (UPE-SSA – 2012) Sobre o Princípio da Incerteza de Heisenberg, analise as proposições a seguir:
- Se uma medida da posição for feita com precisão Δx e se uma medida simultânea da quantidade de movimento for feita com precisão Δp , então o produto das duas incertezas nunca poderá ser menor do que $\frac{h}{4\pi}$, ou seja, $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$
 - Quanto maior a precisão na determinação da posição do elétron, menor é a precisão na determinação de sua velocidade (ou de sua quantidade de movimento) e vice-versa.
 - O princípio afirma que há um limite real para a precisão das medições simultâneas da posição e da quantidade de movimento. Esse limite provém da própria estrutura quântica da matéria e das imperfeições dos instrumentos de medida utilizados.
 - O princípio fundamenta-se na ação do observador sobre o objeto observado; logo, ele é uma manifestação da impossibilidade de se ignorar a interação entre o observador e o objeto observado.
 - Esse princípio se torna irrelevante na interpretação de experiências que lidam com objetos macroscópicos, mas se torna relevante na interpretação de experiências que lidam com partículas subatômicas, como os elétrons.

Estão CORRETAS

- I, II, III, IV e V.
 - I e II, apenas.
 - I, II e V, apenas.
 - I, II, IV e V, apenas.
 - I, II e IV, apenas.
- 8.** (UFMG – 2010) O princípio da incerteza de Heisenberg é uma das características mais marcantes do comportamento de um sistema quântico. Considerando as restrições impostas por ele, pode-se afirmar que
- é impossível o conhecimento simultâneo, com precisão arbitrária, da posição e da quantidade de movimento de uma partícula.
 - o raio da trajetória do elétron em torno do núcleo atômico não pode apresentar qualquer valor, sendo incertas determinadas órbitas.
 - a simultaneidade de dois eventos para um observador em dado referencial inercial é incerta para outro observador em outro referencial inercial.
 - em um sistema no qual estão atuando forças não-conservativas, é incerta a quantidade de energia dissipada.
 - quando as radiações eletromagnéticas incidem sobre uma placa metálica, é incerto o número de elétrons que escapa dela após absorverem energia suficiente.
- 9.** (UFU-MG – 2017) A natureza da luz é um assunto que tem estado presente nas discussões de cientistas e filósofos há séculos, principalmente a partir da possibilidade de aplicação de fenômenos luminosos por comportamentos tanto ondulatórios quanto

corpusculares. Segundo o princípio da complementaridade, proposto por Niels Bohr em 1928, a descrição ondulatória da luz é complementar à descrição corpuscular, mas não se usam as duas descrições simultaneamente para descrever um determinado fenômeno luminoso. Desse modo, fenômenos luminosos envolvendo a propagação, a emissão e a absorção da luz são explicados ora considerando a natureza ondulatória, ora considerando a natureza corpuscular. Assinale a alternativa que apresenta um fenômeno luminoso mais bem explicado, considerando-se a natureza corpuscular da luz.

- Espalhamento da luz ao atravessar uma fenda estreita.
 - Interferência luminosa quando feixes luminosos de fontes diferentes se encontram.
 - Mudança de direção de propagação da luz ao passar de um meio transparente para outro.
 - Absorção de luz com emissão de elétrons por uma placa metálica.
- 10.** (FCMSC-SP – 2023) Albert Einstein é muito conhecido por ter elaborado a Teoria da Relatividade, mas o trabalho que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física de 1921 foi sobre o efeito fotoelétrico. Esse efeito consiste
- na emissão de elétrons por uma superfície metálica quando é atingida por radiação eletromagnética.
 - na emissão de luz pelos LEDs quando são percorridos por corrente elétrica.
 - na emissão de luz por um metal aquecido, como ocorre nas lâmpadas incandescentes.
 - na emissão de elétrons pelo núcleo atômico (radiação beta menos) quando é atingido por radiação luminosa.
 - na emissão de luz por um gás quando é atingido por elétrons, como ocorre nas lâmpadas fluorescentes.
- 11.** (UFJF-MG – 2023) A Física Moderna surgiu entre o final do século 19 e início do século 20. Novas teorias foram elaboradas para explicar fenômenos que eram observados nos laboratórios de pesquisa da época e que intrigavam os cientistas por não encontrarem na Física Clássica teorias que fossem capazes de explicar fenômenos como, por exemplo, o efeito fotoelétrico. Com relação a esse efeito, avalie as seguintes afirmações:
- O efeito fotoelétrico pode ser explicado considerando o comportamento corpuscular da luz.
 - O efeito fotoelétrico pode ser explicado considerando o comportamento ondulatório da luz.
 - A energia do elétron arrancado do metal devido ao efeito fotoelétrico depende da intensidade da radiação eletromagnética que incide no metal.
 - A energia do elétron arrancado do metal devido ao efeito fotoelétrico depende da frequência da radiação eletromagnética que incide no metal.

V. A energia do elétron arrancado do metal devido ao efeito fotoelétrico depende da energia do fóton da radiação eletromagnética que incide no metal e da função trabalho para arrancar o elétron do metal.

Assinale a alternativa que corresponde aos itens CORRETOS:

- a) II, III e IV
- b) I, III e IV
- c) II, IV e V
- d) I, IV e V
- e) III, IV e V

12. (Epcar-MG – 2019) O eletroscópio de folhas é um aparelho utilizado para detectar cargas elétricas. Ele é constituído de uma placa metálica que é ligada, através de uma haste condutora elétrica, a duas lâminas metálicas finas e bem leves. Se as duas lâminas estiverem fechadas, indica que o eletroscópio está descarregado (Figura 1); se abertas, indica a presença de cargas elétricas (Figura 2)

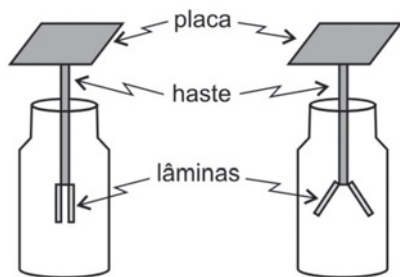


Figura 1

Figura 2

Considere o eletroscópio inicialmente carregado positivamente e que a placa seja feita de zinco. Fazendo-se incidir luz monocromática vermelha sobre a placa, observa-se que a abertura das lâminas

- a) aumenta muito, pois a energia dos fótons da luz vermelha é suficiente para arrancar muitos elétrons da placa.
- b) aumenta um pouco, pois a energia dos fótons da luz vermelha é capaz de arrancar apenas alguns elétrons da placa.
- c) diminui um pouco, pois a energia dos fótons da luz vermelha é capaz de arrancar apenas alguns prótons da placa.
- d) não se altera, pois a energia dos fótons da luz vermelha é insuficiente para arrancar elétrons da placa.

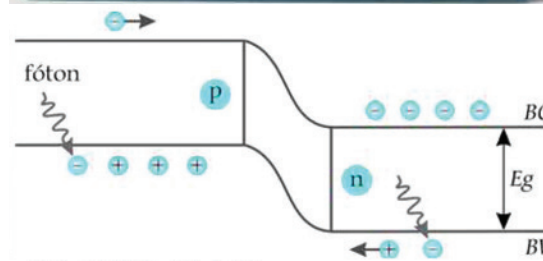
13. (Enem – 2020) As células fotovoltaicas (placas semicondutoras compostas de silício) são os componentes principais dos painéis solares e são capazes de converter, com certa eficiência, parte da energia dos raios solares em energia elétrica. Essa conversão é causada pelo fenômeno físico denominado “efeito fotoelétrico”, que pode ocorrer em uma variedade de materiais, incluindo metais e semicondutores.

Na superfície dos metais, a sequência de eventos que caracteriza esse efeito, de forma simplificada, é a

- a) absorção de fótons e a emissão de elétrons.

- b) absorção de elétrons e a emissão de fótons.
- c) emissão de fótons e a absorção de elétrons.
- d) absorção e a emissão de elétrons.
- e) absorção e a emissão de fótons.

14. (IFNMG – 2012) O professor Luciano, numa aula sobre a implementação das orientações contidas no PCN+, discute com os seus alunos o esquema apresentado na figura seguinte, o qual ilustra o funcionamento dos diodos emissores de luz (LED, do inglês *Light Emitting Diode*). Esses dispositivos, quando adequadamente iluminados, podem funcionar como células voltaicas, capazes de “alimentar”, por exemplo, um relógio digital. Quando fótons incidem sobre a “junção p-n” do LED, eles penetram no material e podem ser absorvidos por elétrons na banda de valência (BV), como ilustra o diagrama citado. Se a energia dos fótons incidentes for suficientemente grande, os elétrons que os absorverem poderão alcançar a banda de condução (BC). Considere, no diagrama apresentado, que $E_g = 1,8 \text{ eV}$, e que a constante de Planck vale $4 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$. Nessas condições, o valor mínimo da frequência da radiação incidente que favorecerá o processo descrito, expresso em Hz, está corretamente apresentado na alternativa:



- a) $3,6 \cdot 10^{15}$
- b) $2,2 \cdot 10^{14}$
- c) $7,2 \cdot 10^{15}$
- d) $4,5 \cdot 10^{14}$

15. (FGV-SP – 2017) A função trabalho de certo metal é $9,94 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. Considere a constante de Planck com o valor $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$. A frequência mínima a partir da qual haverá efeito fotoelétrico sobre esse metal é, em 10^{15} Hz , de

- a) 1,5
- b) 1,1
- c) 1,9
- d) 1,2
- e) 1,7

16. (UniEva-GO – 2017) Um fotoelétron de ferro é arrancado de uma superfície que possui uma função trabalho ϕ de 5,0 eV, com energia cinética máxima de 4,0 eV. Qual foi, aproximadamente, a frequência da fonte de luz incidente nessa superfície, no sistema internacional de unidades? Adote $h \cong 4,0 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$
- a) $4,0 \cdot 10^{-15}$ c) $2,2 \cdot 10^{+15}$
 b) $1,25 \cdot 10^{+15}$ d) $36 \cdot 10^{-15}$
17. (UPF-RS – 2017) Denomina-se de efeito fotoelétrico o fenômeno que consiste na liberação de elétrons pela superfície de um material quando esse é exposto a uma radiação eletromagnética como a luz. O fenômeno foi explicado por Einstein em 1905, quando admitiu que a luz é constituída por quanta de luz cuja energia é dada por $E = h \cdot f$, sendo h a constante de Planck e f a frequência da luz. Das seguintes afirmativas, assinale a correta.
- a) o efeito fotoelétrico fornece evidências das naturezas ondulatória e corpuscular da luz.
 b) quando uma luz monocromática incide sobre uma superfície metálica e não arranca elétrons dela, basta aumentar a sua intensidade para que o efeito fotoelétrico ocorra.
 c) o efeito fotoelétrico acontece independentemente da frequência da luz incidente na superfície metálica.
 d) considerando que, no vácuo, o comprimento de onda da luz vermelha é maior do que o comprimento de onda da luz azul, a energia dos quanta de luz vermelha é maior do que a energia dos quanta da luz azul.
 e) a teoria do efeito fotoelétrico afirma que, aumentando a frequência da luz incidente na superfície metálica, é possível arrancar prótons da superfície do metal.
18. (Unioeste-PR – 2016) O ano de 2015 foi proclamado, pela 68ª Sessão da Assembleia Geral das Nações Unidas, como o Ano Internacional da Luz e das Tecnologias baseadas em Luz, com a finalidade de destacar a importância da ciência óptica e suas aplicações no cotidiano da população, na solução de desafios mundiais e no desenvolvimento sustentável.

(UNESCO. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/pt/brasil/ia/about-this-office/prizes-andcelebrations/2015-international-year-of-light>)

Com relação à ciência óptica, assinale a alternativa INCORRETA.

- a) dentre os defensores da natureza ondulatória da luz estão Hooke e Huygens, e o último trabalhou o fenômeno da polarização da luz.
 b) os fenômenos luminosos de difração e interferência foram observados e estudados pelos físicos Boyle e Hooke durante o século XVII.
 c) Descartes apresentou, na década de 1630, a lei da refração da luz que, por ter sido trabalhada

também por Snell, é atualmente denominada lei de Snell-Descartes.

- d) a frequência da luz monocromática azul não se altera ao passar de um meio menos refringente para um meio mais refringente.
 e) Maxwell, ao explicar o efeito fotoelétrico, deu os alicerces para a compreensão da natureza dual da luz.
19. (Fuvest-SP – 2012) Em um laboratório de física, estudantes fazem um experimento em que radiação eletromagnética de comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ incide em uma placa de sódio, provocando a emissão de elétrons. Os elétrons escapam da placa de sódio com energia cinética máxima $E_c = E - W$, sendo E a energia de um fóton da radiação e W a energia mínima necessária para extrair um elétron da placa. A energia de cada fóton é $E = h \cdot f$, sendo h a constante de Planck e f a frequência da radiação. Determine
- a) a frequência f da radiação incidente na placa de sódio;
 b) a energia E de um fóton dessa radiação;
 c) a energia cinética máxima E_c de um elétron que escapa da placa de sódio;
 d) a frequência f_0 da radiação eletromagnética, abaixo da qual é impossível haver emissão de elétrons da placa de sódio.

NOTE E ADOTE

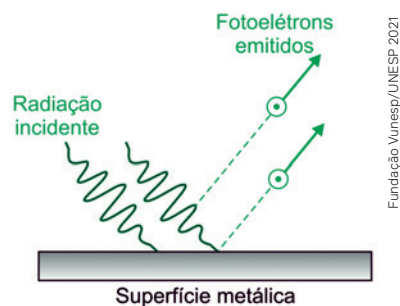
Velocidade da radiação eletromagnética: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

$h = 4 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$.

W (sódio) = 2,3 eV.

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

20. (Unesp – 2021) O efeito fotoelétrico é um processo em que ocorre a emissão de elétrons por uma placa metálica, chamados fotoelétrons, quando a radiação eletromagnética incide sobre ela com uma quantidade de energia suficiente para removê-los da superfície da placa. A quantidade mínima dessa energia que remove cada elétron é chamada função trabalho do metal (ϕ). No estudo desse efeito, considera-se que a energia (ϵ) associada a um fóton de determinada radiação que se propaga com frequência f é dada pela expressão $\epsilon = h \cdot f$, em que h é uma constante positiva. Nesse processo, essa energia é totalmente absorvida por um elétron ligado à placa, sendo parte utilizada para removê-lo do metal e o restante transformada em energia cinética desse fotoelétron ($E_{\text{cin}} = \epsilon - \phi$).



A tabela apresenta as funções trabalho do sódio e do alumínio, expressas em joules.

Metal	φ (J)
Sódio	$3,7 \cdot 10^{-19}$
Alumínio	$6,5 \cdot 10^{-19}$

Considere que uma radiação ultravioleta de comprimento de onda $\lambda = 4 \cdot 10^{-7}$ m, propagando-se no vácuo, incida sobre duas placas, uma feita de sódio e outra de alumínio. Sendo a velocidade da luz no vácuo $c = 3 \cdot 10^8$ m/s e adotando-se $h = 6,4 \cdot 10^{-34}$ J · s, nessa situação somente a placa de

- alumínio emitirá fotoelétrons, cada um com $2,0 \cdot 10^{-19}$ J de energia cinética.
 - alumínio emitirá fotoelétrons, cada um com $2,4 \cdot 10^{-19}$ J de energia cinética.
 - sódio emitirá fotoelétrons, cada um com $2,4 \cdot 10^{-19}$ J de energia cinética.
 - sódio emitirá fotoelétrons, cada um com $1,1 \cdot 10^{-19}$ J de energia cinética.
 - alumínio emitirá fotoelétrons, cada um com $1,1 \cdot 10^{-19}$ J de energia cinética.
21. (UFPR – 2017) Entre os vários trabalhos científicos desenvolvidos por Albert Einstein, destaca-se o efeito fotoelétrico, que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física de 1921. Sobre esse efeito, amplamente utilizado em nossos dias, é correto afirmar:
- Trata-se da possibilidade de a luz incidir em um material e torná-lo condutor, desde que a intensidade da energia da radiação luminosa seja superior a um valor limite.
 - É o princípio de funcionamento das lâmpadas incandescentes, nas quais, por ação da corrente elétrica que percorre o seu filamento, é produzida luz.
 - Ocorre quando a luz atinge um metal e a carga elétrica do fóton é absorvida pelo metal, produzindo corrente elétrica.
 - É o efeito que explica o fenômeno da faísca observado quando existe uma diferença de potencial elétrico suficientemente grande entre dois fios metálicos próximos.
 - Corresponde à ocorrência da emissão de elétrons quando a frequência da radiação luminosa incidente no metal for maior que um determinado valor, o qual depende do tipo de metal em que a luz incidiu.

22. (Fuvest-SP – 2022) Alguns equipamentos de visão noturna têm seu funcionamento baseado no efeito fotoelétrico, uma das primeiras descobertas que contribuíram para o surgimento da mecânica quântica. Nesses equipamentos, fótons de frequência f emitidos por um objeto incidem sobre uma superfície metálica. Elétrons são então liberados da superfície e

acelerados por um campo elétrico. Em seguida, o sinal eletrônico é amplificado e produz uma imagem do objeto.

Diferentemente do que a Física Clássica prevê, apenas os elétrons com energia hf acima de uma certa energia mínima E_0 são liberados da superfície metálica.

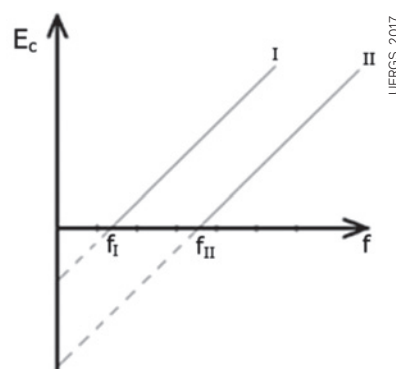
Considerando a incidência de fótons com frequência da ordem de 10^{14} Hz, a ordem de grandeza do valor limite de E_0 para que o equipamento funcione deve ser:

NOTE E ADOTE:

Constante de Planck: $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J · s

- 10^{-50} J
- 10^{-40} J
- 10^{-30} J
- 10^{-20} J
- 10^{-10} J

23. (UFRGS-RS – 2017) O gráfico abaixo mostra a energia cinética E_c de elétrons emitidos por duas placas metálicas, I e II, em função da frequência f da radiação eletromagnética incidente.



Sobre essa situação, são feitas três afirmações.

- Para $f > f_{II}$, a E_c dos elétrons emitidos pelo material II é maior do que a dos elétrons emitidos pelo material I.
- O trabalho realizado para liberar elétrons da placa II é maior do que o realizado na placa I.
- A inclinação de cada reta é igual ao valor da constante universal de Planck, h .

Quais estão corretas?

- Apenas I.
- Apenas II.
- Apenas III.
- Apenas II e III.
- I, II e III.

24. (Fatec-SP – 2017) Leia o texto.

A polonesa Maria Skodovska Curie (1867–1934) é considerada a “mãe da Física Moderna” e a “patrona da Química”. Madame Curie, como é conhecida, é famosa por sua pesquisa inovadora sobre a radioatividade e pela descoberta dos elementos polônio e rádio. Ela teve influência na trajetória de muitas outras mulheres ao redor do mundo, que enfrentavam uma época repleta de preconceitos e dificuldades profissionais. No Brasil, na primeira metade do século XX, tivemos pelo menos três representantes de destaque na área da Física. Yolande Monteux (1910–1998), primeira mulher formada em Física pela USP no Brasil (1938), trabalhou em pesquisas sobre raios cósmicos,

tornando-se uma das pioneiras na área. Logo depois, em 1942, duas outras pesquisadoras seguiram os passos dela, graduando-se, também, em Física. Uma delas, Elisa Frota-Pessoa (1921-), graduada pela UFRJ, trabalhou com Física Experimental. Dentre sua obra, destaca-se o artigo intitulado “Sobre a desintegração do méson pesado positivo”. A outra foi Sonja Ashauer (1923-1948), também graduada pela USP, e que se tornou a primeira mulher brasileira a concluir um Doutorado em Física, na Universidade de Cambridge (Inglaterra), com uma tese sobre elétrons e radiações eletromagnéticas.

Podemos afirmar que algumas áreas da Física contempladas pelos estudos citados no texto são

- Termologia e Radioatividade, por estudarem a temperatura dos raios cósmicos e suas radiações.
- Magnetismo e Físico-Química, por terem pesquisado partículas atômicas e novos elementos.
- Acústica e Gases, pela descoberta do rádio e do polônio, que são gases à temperatura e pressão ambiente.
- Astrofísica e Física de Partículas, pelo estudo dos raios cósmicos, radioatividade e partículas subatômicas.
- Óptica Geométrica e Eletromagnetismo, pela observação astronômica realizada das radiações eletromagnéticas.

25. (PUC-RS – 2016) Em Física de Partículas, uma partícula é dita elementar quando não possui estrutura interna. Por muito tempo se pensou que prótons e nêutrons eram partículas elementares, contudo as teorias atuais consideram que essas partículas possuem estrutura interna. Pelo Modelo Padrão da Física de Partículas, prótons e nêutrons são formados, cada um, por três partículas menores denominadas **quarks**. Os *quarks* que constituem tanto os prótons quanto os nêutrons são dos tipos *up* e *down*, cada um possuindo um valor fracionário do valor da carga elétrica elementar e ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).

A tabela abaixo apresenta o valor da carga elétrica desses *quarks* em termos da carga elétrica elementar e .

	Quark up	Quark down
Carga elétrica	$\frac{+2}{3} e$	$\frac{-1}{3} e$

Assinale a alternativa que melhor representa os *quarks* que constituem os prótons e os nêutrons.

- | | Próton | Nêutron |
|----|-------------------------|-------------------------|
| a) | <i>up; up; down</i> | <i>up; up; up</i> |
| b) | <i>down; down; down</i> | <i>up; down; down</i> |
| c) | <i>up; down; down</i> | <i>up; up; down</i> |
| d) | <i>up; up; down</i> | <i>up; down; down</i> |
| e) | <i>up; down; down</i> | <i>down; down; down</i> |

26. (UEL-PR – 2017) No Modelo Padrão da Física das Partículas elementares, o próton e o nêutron são partículas compostas constituídas pelas combinações de partículas menores chamadas de *quarks* *u* (*up*) e *d* (*down*). Nesse modelo, o próton (*p*) e o nêutron (*n*) são compostos, cada um, de três *quarks*, porém com diferentes combinações, sendo representados por $p = (u, u, d)$ e $n = (u, d, d)$. Os prótons e os nêutrons comportam-se, na presença de um campo magnético, como se fossem minúsculos ímãs, cujas intensidades são denominadas de momento magnético e medidas em magnétons nucleares (m_n). Para o próton, o momento magnético é dado por

$$\mu_p = \frac{4}{3} \mu_u - \frac{1}{3} \mu_d$$

enquanto que, para o nêutron, o momento magnético é dado por

$$\mu_n = \frac{4}{3} \mu_d - \frac{1}{3} \mu_u$$

em que $e_u = \frac{+2}{3} e$ e $e_d = \frac{-1}{3} e$.

A partir dessas informações, responda aos itens a seguir.

- Determine o valor da razão entre o momento magnético dos *quarks* *u* e *d*
 - Determine o valor adimensional da razão $\frac{\mu_n}{\mu_p}$.
27. (UFRGS-RS – 2023) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem.
O fóton, manifestação da luz como partícula, também chamado de quantum da radiação eletromagnética, tem massa e carga
- igual à massa do elétron – nula
 - igual à massa do elétron – positiva
 - igual a zero – negativa
 - igual a zero – nula
 - igual à massa do elétron – negativa.
28. (IFTO – 2019) A teoria da relatividade especial intitula que uma desmesurada quantidade de energia pode ser liberada por um insignificante fragmento de matéria. Suponhamos que 1 grama de massa de determinada matéria fosse totalmente convertida em energia. Sabendo-se que a velocidade da luz no vácuo é, aproximadamente, 300.000 km/s, a energia disponibilizada com a exterminação deste 1 g de massa seria:
- $9,0 \cdot 10^{13} \text{ J}$
 - $9,0 \cdot 10^{16} \text{ J}$
 - $9,0 \cdot 10^{15} \text{ J}$
 - $9,0 \cdot 10^{-5} \text{ J}$
 - $9,0 \cdot 10^{-16} \text{ J}$
29. (Urca-CE - 2010) O Grande Colisor de Hádrons (em inglês: *Large Hadron Collider* - LHC) do Centro Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN), O LHC é o maior instrumento de investigação científica já construído.

É o maior acelerador de partículas e o de maior energia existente do mundo. Seu principal objetivo é obter dados sobre colisões de feixes de partículas, tanto de prótons a uma energia de 7 TeV (Tera-elétronvolt) por partícula, ou núcleos de chumbo a energia de 574 TeV por núcleo. O laboratório localiza-se em um túnel de 27 km de circunferência, bem como a 175 metros abaixo do nível do solo na fronteira franco-suíça, próximo a Genebra, Suíça. Os feixes vão atingir velocidade próxima à da luz e, então, colidirão um com o outro. Essa colisão poderá ajudar a decifrar mistérios do universo. Segundo o texto, o experimento no LHC fornecerá dados que possibilitarão decifrar os mistérios do universo. Para analisar esses dados provenientes das colisões no LHC, os pesquisadores utilizarão os princípios de transformação da energia. Sabendo desses princípios, pode-se afirmar que:

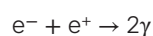
- a) o feixe de partículas adquire energia cinética proveniente das transformações de energia ocorridas na interação do feixe com os aceleradores.
- b) as colisões podem ser elásticas ou inelásticas e, em ambos os casos, a energia cinética total se dissipa na colisão.
- c) a energia dos aceleradores é proveniente da energia liberada nas reações químicas no feixe injetado no interior do grande colisor.
- d) os aceleradores produzem campos magnéticos que não interagem com o feixe, já que a energia preponderante das partículas no feixe é a energia potencial.
- e) a velocidade das partículas do feixe é irrelevante nos processos de transferência de energia nas colisões, sendo a massa das partículas o fator preponderante.

30. (Unifan-GO - 2020) Os prótons não são estáticos, eles possuem um movimento de rotação em torno do próprio eixo, a este movimento é dado o nome de *spin*. Os diversos *spins* do corpo humano encontram-se posicionados aleatoriamente, sem direção definida. Quando o paciente realiza um dos exames abaixo, os prótons de hidrogênio sofrerão alinhamento.

Que exame é este?

- a) Tomografia computadorizada.
- b) Densitometria óssea.
- c) Radiografia.
- d) Ultrassonografia.
- e) Ressonância magnética.

31. (Suprema Medicina-MG - 2019) Na técnica de obtenção de imagens conhecida como PET/Scan, pósitrons são produzidos por uma fonte. Logo que os pósitrons se encontram com elétrons presentes nas moléculas dos tecidos sofrem aniquilação, liberando 2 fótons de alta energia:



Marque a alternativa correta para o processo.

- a) Ocorre conservação da carga elétrica, energia e quantidade de movimento.
- b) Ocorre conservação da carga elétrica e energia, mas não da quantidade de movimento.
- c) Ocorre conservação da energia e quantidade de movimento, mas não da carga elétrica.
- d) Ocorre conservação da energia, mas não da quantidade de movimento e carga elétrica.

32. (UFMT - 2009) A coluna da esquerda apresenta interações fundamentais e a da direita, fenômenos relacionados a elas. Numere a coluna da direita de acordo com a da esquerda.

- | | | |
|---------------------|-----|-------------------------|
| 1 - Fraca | () | Estabilidade nuclear |
| 2 - Forte | () | Processos de decaimento |
| 3 - Eletromagnética | () | Aglomeração de galáxias |
| 4 - Gravitacional | () | Existência do átomo |

- a) 2, 1, 4, 3
- b) 1, 4, 3, 2
- c) 2, 1, 3, 4
- d) 4, 1, 2, 3
- e) 3, 2, 1, 4

33. Os *quarks* são partículas que, quando ligadas em trios, formam partículas como prótons e nêutrons. Em relação aos *quarks*, assinale a alternativa correta:

- a) são partículas que não têm massa e, por isso, recebem o nome de bósons.
- b) são partículas não elementares, pois apresentam estruturas internas feitas de partículas ainda menores.
- c) são partículas elementares de carga elétrica parcial menor que a carga elementar.
- d) são responsáveis pelo surgimento da força de atração, que mantém os núcleos atômicos estáveis.
- e) são destruídos nas reações nucleares para a obtenção de energia nuclear.

34. (Urca-CE - 2015) De acordo com o Modelo Padrão da Física de Partículas (1960-1970), as partículas fundamentais de matéria são os *quarks* e léptons. O elétron, por exemplo, faz parte do conjunto dos léptons. O próton é constituído de três *quarks*, sendo dois *quarks* do tipo "up", cada qual com carga elétrica $+\frac{2}{3}$, e um *quark* do tipo "down", o qual possui carga $-\frac{1}{3}$, resultando em uma carga total $+\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1$ em unidades de carga elementar. Com base nesta informação, o nêutron - uma partícula (não fundamental) também formado por três *quarks* mas com uma carga total NULA - deve ser formado por:

- a) 3 *quarks* "up"
- b) 3 *quarks* "down"
- c) 3 elétrons
- d) 3 prótons
- e) 2 *quarks* "down" e 1 *quark* "up"

SEGURANÇA NO LABORATÓRIO



Armário de reagentes

É fundamental verificar os símbolos e as informações presentes nos rótulos dos frascos de reagentes e nas fichas de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ), que devem acompanhar esses produtos.

Resíduos

Não devemos descartar os resíduos químicos diretamente nas pias. Siga as orientações do professor ou responsável pelo laboratório.

Equipamentos de proteção

Calças compridas, calçados fechados, avental, óculos de proteção e luvas são equipamentos de proteção para a atividade prática.

Gás e eletricidade

Devem ser utilizados com atenção e cuidado. A voltagem de equipamentos elétricos deve ser observada antes de ligá-los. Não devemos manipular substâncias inflamáveis próximas de chamas. Ao final das atividades, certifique-se de ter desligado o registro de gás e os interruptores elétricos.

Primeiros socorros

Em caso de acidente, devemos comunicar ao professor ou a outro responsável da escola. Tente lembrar-se das substâncias químicas ou aparelhos eletrônicos envolvidos no acidente. Os telefones de emergência são 192 (Samu) e 193 (Corpo de Bombeiros).

Capela de exaustão

Local onde se deve manipular substâncias que liberam gases ou vapores tóxicos e/ou inflamáveis, pois dispõe de um sistema de exaustão, que os impede de se concentrarem dentro do laboratório.

Lava-olhos e chuveiro

Equipamento que permite a lavagem dos olhos e do corpo de maneira rápida. Caso uma substância química entre em contato com seu corpo, lave-se com água em abundância.

O que fazer?

Devemos prestar muita atenção às explicações do professor antes de iniciar uma atividade prática. Se mesmo assim houver dúvidas ou acontecer algum imprevisto, comunique ao professor.

- Amarre cabelos longos.
- Não leve as mãos à boca, aos olhos ou ao nariz enquanto estiver no laboratório, principalmente ao manusear produtos químicos.
- Entre no laboratório apenas na presença de um responsável.
- Não se sente nas bancadas do laboratório.
- Nunca entre na sala de estoque de produtos químicos.
- Nos experimentos em que há aquecimento, fique atento à fonte de calor.
- Se quebrar ou derramar algo, avise o professor imediatamente.
- Não coloque produtos químicos na pia, a não ser que tenha sido orientado.
- Não coma ou beba no laboratório.

Gabarito

Unidade 1

Capítulo 1

Página 20

Atividades propostas

1. a) Vertical.
b) Parabólica.
2. a) Circular.
b) Cicloide.
3. a) Arco de círculo.
b) Elíptica.
4. a) Ponto material;
b) Corpo extenso.
5. Parabólica.

Página 25

Atividades propostas

1. 7 m/s
2. a) Em repouso em relação à calçada.
b) Em movimento em relação ao carro.
c) Em movimento em relação à sua mãe.
d) Em repouso, uma em relação à outra.
e) Em movimento em relação ao planeta Terra.
3. a) 250 m/s
b) 4 950 km
4. b) 50 km/h
5. 15 km/h

Capítulo 2

Página 29

Atividades propostas

1. d
2. e

Páginas 36 a 37

Atividades propostas

1. a) $a_A = 2 \text{ m/s}^2$; $a_B = -1 \text{ m/s}^2$
b) $\Delta s_A = 21 \text{ m}$; $\Delta s_B = 10,5 \text{ m}$
c) $s_A = 4 + 4t + t^2$;
 $s_B = 4 + 5t - \frac{t^2}{2}$

2. 6,25 m
3. 38 m
4. e

Página 39

Atividades propostas

1. d
2. d

Página 41

Atividades propostas

1. c
2. e

Capítulo 3

Página 45

Atividades propostas

1. a) 12 unidades, horizontal, para a direita.
b) 1 unidade, vertical, para cima.
c) 16 unidades, horizontal, para baixo.
d) 10 unidades, inclinado, primeiro quadrante.
e) 13 unidades, inclinado, terceiro quadrante.
2. $10\sqrt{37}$ unidades.
3. 30 N

Página 50

Atividades propostas

1. b
2. d
3. c
4. $2,1 \text{ m/s}^2$

Páginas 55 a 56

Atividades propostas

1. a) 480 N
b) 2 m
2. c
3. d

Capítulo 4

Páginas 62 a 63

Atividades propostas

1. c
2. d
3. b
4. b) 0,3 m c) 2 000 N

Página 69

Atividades propostas

1. 1,8 N

2. d
3. a

Página 70

Atividades propostas

1. 230 000 L
2. c

Páginas 72 a 77

Enem e vestibulares

1. c
2. c
3. c
4. c
5. c
6. d
7. c
8. d
9. c
10. e
11. b
12. d
13. c
14. d
15. d
16. c
17. a
18. a
19. d
20. d
21. d
22. c
23. d
24. a
25. 4 kg
26. b
27. e
28. b
29. b
30. a
31. b
32. c
33. b
34. b
35. e

Unidade 2

Capítulo 5

Página 87

Atividades propostas

1. a) 400 J c) 0 J
b) 200 J d) -200 J
2. a) -600 000 J
b) 600 000 J
3. a) 1 000 J
b) 250 000 kcal
4. a) 25 J b) 25 J
5. a) 300 J

Página 90

Atividades propostas

1. 64 J
2. e
3. a
4. Aproximadamente 14 m/s.

Capítulo 6

Página 98

Atividades propostas

- 20 000 N · s
- 320 N · s
 - 3,2 m/s
- 1 000 kg · m/s
 - 100 N, vertical e para baixo.
- 12 250 N

Página 101

Atividades propostas

- 16 m/s
- d
- $\frac{v}{2}$
 - $\frac{1}{2}$

Página 104

Atividades propostas

- a
- 4 000 m/s
- c

Capítulo 7

Página 109

Atividades propostas

- 50 °C
- 25 °M

Página 113

Atividades propostas

- d
- c

Página 117

Atividades propostas

- 900 g
- 5 050,5 kg

Página 120

Atividades propostas

- d
- 10 000 cal

Capítulo 8

Páginas 128 a 129

Atividades propostas

- c
- 1 atm
- d
- d
- e

Página 134

Atividades propostas

- 255 J
- 32 J

Página 139

Atividades propostas

- A do copo inteiro.
- e
- e

Páginas 141 a 149

Enem e vestibulares

- | | |
|-------|-------|
| 1. b | 20. b |
| 2. e | 21. c |
| 3. d | 22. c |
| 4. a | 23. c |
| 5. a | 24. c |
| 6. e | 25. d |
| 7. d | 26. a |
| 8. c | 27. e |
| 9. b | 28. c |
| 10. b | 29. d |
| 11. e | 30. e |
| 12. d | 31. c |
| 13. e | 32. a |
| 14. a | 33. a |
| 15. d | 34. e |
| 16. c | 35. d |
| 17. e | 36. d |
| 18. c | 37. b |

Unidade 3

Capítulo 9

Página 157

Atividades propostas

- b
- c
- 0,4 m/s
- e
- c
- d

Página 162

Atividades propostas

- c
- As estrelas azuladas têm maior temperatura do que as avermelhadas.
- c

Capítulo 10

Página 170

Atividades propostas

- e
- b
- 0,75 W/m²
- d

Página 173

Atividades propostas

- c
- c
- a

Página 178

Atividades propostas

- 0,386 m
- A densidade linear das cordas de um violão varia para que as notas musicais sejam produzidas com tensões semelhantes em todas as cordas.
- Fá#

Capítulo 11

Páginas 187 a 188

Atividades propostas

- Saber se a nuvem está se afastando ou se aproximando, o que permite previsões mais acuradas.
- a
- d
- 6,8 m/s
- Aproximadamente 2 222 Hz e 2 226 Hz.

Página 193

Atividades propostas

- e
- a

Página 196

Atividades propostas

- c
- Pêndulos de mesmo comprimento oscilam na mesma frequência; logo, haverá ressonância entre eles.
- Ímãs potentes geram campos magnéticos fortes o suficiente para alinhar os *spins* dos núcleos de hidrogênio, resultando em sinais detectáveis quando perturbados por radiofrequência.

Capítulo 12

Página 201

Atividades propostas

1. e
2. e
3. As micro-ondas do forno fazem as moléculas de água vibrarem, gerando calor devido ao atrito entre as moléculas do alimento.
4. b

Página 206

Atividades propostas

1. d
2. e
3. A luz UVB do Sol bronzeia a pele ativando a produção de melanina, enquanto lâmpadas comuns não possuem UVB e, por isso, não bronzeiam.
4. d

Páginas 208 a 215

Enem e vestibulares

- | | |
|-------|-------|
| 1. e | 19. e |
| 2. e | 20. d |
| 3. b | 21. d |
| 4. b | 22. e |
| 5. d | 23. d |
| 6. c | 24. e |
| 7. b | 25. d |
| 8. a | 26. d |
| 9. c | 27. a |
| 10. b | 28. c |
| 11. e | 29. c |
| 12. c | 30. b |
| 13. e | 31. a |
| 14. a | 32. c |
| 15. b | 33. e |
| 16. a | 34. d |
| 17. e | 35. c |
| 18. d | |

Unidade 4

Capítulo 13

Página 248

Atividades propostas

1. e
2. c

Capítulo 14

Página 260

Atividades propostas

1. e
2. d

Capítulo 15

Página 252

Atividades propostas

1. b
2. b

Capítulo 16

Página 263

Atividades propostas

1. d
2. b

Página 267

Atividades propostas

1. c
2. b

Páginas 270 a 279

Enem e vestibulares

- | | |
|-----------|-------|
| 1. d | 10. b |
| 2. c | 11. c |
| 3. e | 12. d |
| 4. d | 13. d |
| 5. a | 14. c |
| 6. e | 15. a |
| 7. a | 16. c |
| 8. d | 17. e |
| 9. b | 18. c |
| 19. | |
| a) 5,5 A | |
| b) 3,85 A | |
| 20. c | 31. a |
| 21. d | 32. b |
| 22. a | 33. e |
| 23. c | 34. e |
| 24. d | 35. c |
| 25. b | 36. d |
| 26. b | 37. b |
| 27. c | 38. d |
| 28. a | 39. d |
| 29. e | 40. e |
| 30. d | |

Unidade 5

Capítulo 17

Página 287

Atividades propostas

1. $200 \pi \text{ rad/s}$
2.
 - a) $8,7 \pi \cdot 10^{-7} \text{ rad/s}$
 - b) $2,87 \pi^2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}^2$
3. $6,67 \text{ rad/s}$
4.
 - a) 24 h
 - b) $1,15 \cdot 10^{-5} \text{ Hz}$
 - c) $2,31 \pi \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$

5.

- a) 465,42 m/s
- b) 0

Página 290

Atividades propostas

1. Três vezes.
2. b

Página 296

Atividades propostas

1. c
2. d
3. Quatro unidades.

Capítulo 18

Páginas 301 a 302

Atividades propostas

1. $2,5 \cdot 10^9$ anos
2. 16 vezes maior
3. $4 \cdot 10^{10}$ anos
4. b
5. a

Página 306

Atividades propostas

1. Massa inicial.
2. d
3. e
4. e
5. d
6. a

Páginas 311 a 312

Atividades propostas

1. d
2. c
3. d
6.
 - a) Nebulosa, protoestrela, sequência principal, gigante vermelha e anã branca.
 - b) Estrelas como o Sol têm seu início na faixa da sequência principal, passando para a região das gigantes vermelhas e findando nas anãs brancas.
7. b
8. c
9. São formadas nas nebulosas pela agregação de gases e poeira estelar. Não são estrelas, pois não conseguem realizar a fusão nuclear e, com isso, emitir luz própria.
10.
 - a) $m_{\text{anã marrom}} < m_{\text{anã branca}} < m_{\text{estrela de nêutrons}}$
 - b) $T_{\text{anã marrom}} > T_{\text{anã branca}} > T_{\text{estrela de nêutrons}}$
11. São estrelas menos massivas.
12. b

Capítulo 19

Páginas 322 a 323

Atividades propostas

- c
- 56,8 km/s
- 857,3 nm
- 571,5 nm

Páginas 326 a 327

Atividades propostas

- c
- a) 13 bilhões de anos-luz.
b) 20 bilhões de anos-luz.
- $1,26 \cdot 10^{20}$ km
- 422,5 Mpc
- 2 535 Mpc

Capítulo 20

Página 337

Atividades propostas

- c
- a) $1,4 \cdot 10^9$ m
b) Devido à sua distância em relação à Terra.
- d
- d
- a

Página 345

Atividades propostas

- a) objeto real e imagem real;
b) objeto real e imagem virtual;
c) objeto virtual e imagem real;
d) objeto real e imagem imprópria.
- b
- e

Página 350

Atividades propostas

- b
- d

Páginas 359 a 360

Atividades propostas

- d
- c

Páginas 361 a 367

Enem e vestibulares

- a
- c
- a
- c
- c
- e
- b
- e
- d
- b
- a
- a

- c
- d
- b
- d
- c
- d
- e
- b
- b
- c
- a
- d
- c
- a
- a

Unidade 6

Capítulo 21

Página 379

Atividades propostas

- e
- a) Fóton: Huygens, Newton, Fresnel e Poisson. Analista: Einstein.
b) O elétron também apresenta comportamento dual.
- a

Capítulo 22

Páginas 393 a 395

Atividades propostas

- d
- d
- d
- e
- 1 eV
- b
- a
- d
- d

Capítulo 23

Página 407

Atividades propostas

- Todas fazem uso de uma grade de informações.
- c

Página 417

Atividades propostas

- a) Telas resistivas.
b) Telas capacitivas.
c) Todos os citados, exceto o resistivo.
- a) Microscópio eletrônico de varredura por tunelamento.
b) Microscópio eletrônico de varredura.

- Princípio da incerteza e tunelamento quântico.

Capítulo 24

Página 424

Atividades propostas

- c
- $+1 e^{-1}$

Página 427

Atividades propostas

- a) $2,97 \cdot 10^5$ km/s
b) 99%
- c
- b

Páginas 433 a 439

Enem e vestibulares

- c
- e
- a
- b
- d
- a
- d
- a
- d
- a
- d
- d
- a
- d
- a
- e
- a) 10^{15} Hz
b) 4 eV
c) 1,7 eV
d) $5,75 \cdot 10^{14}$ Hz
- d
- e
- d
- d
- d
- d
- a) $-\frac{2}{3}$
b) $-\frac{2}{3}$
- d
- a
- a
- c
- e

Referências comentadas

- ARAÚJO, M. Leis de Kepler. *Revista de Ciência Elementar*, Lisboa, v. 2, n. 1, p. 104, 2014.
Artigo com síntese das leis de Kepler.
- BISPO, E. S.; RODRIGUES, C. G. Sugestões de experimentos de fácil acesso para o ensino de termodinâmica. *Physicae Organum*, Brasília, DF, v. 6, n. 2, p. 89-111, 2020.
Artigo que traz a construção de experimentos didáticos em Termodinâmica, utilizando materiais de baixo custo ou reciclados.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: MEC, 2018.
Documento normativo que estabelece quais são os conteúdos essenciais para cada etapa da Educação Básica, buscando assegurar uma formação integral e igualitária aos estudantes brasileiros.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022: ano base 2021*. Brasília, DF: MME, 2022.
O documento traz os dados referentes ao panorama nacional da cadeia de energia elétrica do Brasil, no ano de 2021.
- BRINATTI, A. M. *et al.* O processo de descoberta por meio de um experimento usando apenas uma régua. *Revista do Professor de Física*, Brasília, DF, v. 6, p. 488-495, 2022. Número especial.
Artigo científico no qual é proposto um experimento de queda livre utilizando apenas uma régua.
- BRITO, A. A. S. O plano inclinado: um problema desde Galileu. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 57-63, 1985.
Artigo científico que discute a importância histórica do plano inclinado de Galileu e o surgimento de uma lei matemática para o movimento uniformemente variado.
- CAETANO, T. C.; CARDOSO, C. M. Uma proposta de atividade didática sobre a medição do raio da terra baseada no método empregado por Eratóstenes. *Cadernos de Astronomia*, Vitória, v. 3, n. 1, p. 121, 2022.
Artigo científico no qual a medição do raio da Terra é revisada.
- CANALLE, J. B. G. A luneta com lente de óculos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 21, p. 272-279, 2004. Número especial.
Artigo científico que propõe a construção de um telescópio galileano.
- CHAVES, J. A.; YUKI, C.; BRASIL, P. J. Luz, penumbra e sombra: uma visão astronômica sobre tangentes. *Revista Brasileira de Expressão Gráfica*, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 54-78, 2018.
Artigo científico que revisa a noção de retas tangentes a circunferências.
- CRUZ, C. A. *et al.* Oficinas de aprendizagem no ensino de física: um estudo de caso com experiências de termodinâmica. *Revista Prática Docente*, Confresa, v. 6, n. 3, p. e082-e082, 2021.
Artigo científico que propõe uma oficina com experimentos de baixo custo, incluindo um exemplo com variação de volume de um balão.
- DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S.; SOUZA, M. T. M. A Gravitação Universal: um texto para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 257-271, 2004.
Artigo científico no qual a gravitação universal é apresentada em conjunto com noções da dinâmica do movimento circular.
- FERREIRA, V. S.; CARVALHO, P. S. Um experimento simples para mostrar a conservação do momento linear. *Revista do Professor de Física*, Brasília, DF, v. 2, n. 1, p. 18-22, 2018.
Artigo científico que apresenta um experimento com videoanálise para demonstrar a conservação do momento linear.
- FRÓES, A. L. D. Astronomia, astrofísica e cosmologia para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 3504, 2014.
Artigo científico de revisão de conceitos de astronomia para o Ensino Médio, com destaque para as ondas gravitacionais.
- GOMES, A. V.; AMARAL, E. M. S.; PRADO, R. J. Determinação da densidade de líquidos imiscíveis pelo princípio de Stevin. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 41, n. 3, p. e20180313, 2019.
Artigo científico que utiliza o teorema de Stevin para determinação de densidade de corpos a partir de vasos comunicantes.
- GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. *Física 1: Mecânica*. São Paulo: Edusp, 1990.
Livro didático aberto, fruto de construção coletiva envolvendo pesquisadores, professores e outros atores para pensar e reformular abordagens da Física.
- GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. *Física 2: Física Térmica e Óptica*. Edusp, 1993. v. 2.
Livro didático aberto, fruto de construção coletiva envolvendo pesquisadores, professores e outros atores para pensar e reformular abordagens da Física.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física: eletromagnetismo*. 9. ed. Barueri: LTC, 2012.
Livro utilizado como referência para os conceitos relacionados ao eletromagnetismo.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física: óptica e Física Moderna*. 9. ed. Barueri: LTC, 2012.
Livro utilizado como referência para o desenvolvimento dos conceitos relacionados à óptica e à Física Moderna.

- HELENE, O.; HELENE, A. F. Alguns aspectos da óptica do olho humano. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 3312, 2011.
Artigo científico de revisão da óptica do olho humano.
- HENRIQUE, A. B. *Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da História da cosmologia*. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
Dissertação de Mestrado cujo objetivo é apresentar maneiras de trabalhar aspectos da natureza da Ciência, principalmente as relacionadas à História e a Filosofia da Ciência, a partir de episódios históricos da cosmologia do século XX.
- HEWITT, P. G. *Física conceitual*. Porto Alegre: Bookman Editora, 2023.
Livro que aborda os conceitos físicos de forma abrangente e acessível, utilizando linguagem clara e ilustrações.
- HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L. B. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
Obra que aborda a relação entre energia e meio ambiente, conscientizando sobre o uso sustentável dos recursos energéticos.
- JESUS, V. L. B.; SASAKI, D. G. G. Utilização do conceito de aumento angular para interpretar imagens observadas em espelhos esféricos côncavos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 1-7, 2013.
Artigo científico que discute a diferença entre aumento linear e aumento angular.
- JUNIPER, T. *Como nós estamos destruindo o planeta: os fatos visualmente explicados em infográficos*. Tradução de André Botelho. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2019.
Livro que discute os impactos das influências antrópicas no planeta Terra através da apresentação dos dados e das análises por infográficos.
- KOHATSU, D.; MURAMATSU, M. Eclipse em escala. *Física na Escola*, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 9-15, 2019.
Artigo de revisão sobre as escalas envolvidas em eclipses e a noção de plano da eclíptica.
- LABURÚ, C. E.; ALMEIDA, C. J. Lei de Hooke: uma comparação entre sistemas lineares. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 15, n. 1, p. 71-81, 1998.
Artigo científico que apresenta experimentos para verificação da lei de Hooke.
- LATTARI, C. J. B.; TREVISAN, R. H. Radioastronomia: noções iniciais para o Ensino Médio e Fundamental como ilustração de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 229-239, 2001.
Artigo científico que usa a noção de emissão e recepção de ondas eletromagnéticas e propõe um modelo de rádio de Galena.
- LEDO, G. M. *et al.* Rolamento de uma roda sobre uma rampa cicloide. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 45, p. e20220274, 2023.
Artigo científico no qual uma curva cicloide é modelada computacionalmente.
- MACHADO, V.; MACHADO, V. O. O.; MACHADO, P. L. O. Do conceito do Torque ao seu efeito: um ensaio no laboratório. *Revista Iluminart*, São Paulo, v. 1, n. 14, p. 64-74, 2017.
Artigo científico que aprofunda a noção de torque de uma força e sugere aplicações experimentais.
- MEIRELLES, S.; VIOLANTE-CARVALHO, N. Modelagem computacional da propagação de ondas superficiais no oceano: um subsídio para a compreensão dos fenômenos ópticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 29, p. 555-563, 2007.
Artigo científico com modelagem computacional para refração de ondas.
- MONTANHEIRO, M. N. S. Determinação da densidade de sólidos e líquidos pelo princípio de Arquimedes. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 21, p. 120-123, 2004. Número especial.
Artigo científico que apresenta uma forma de se usar o princípio de Arquimedes para determinação da densidade de um corpo sólido.
- MONTEIRO, M. A. A. *et al.* Proposta de atividade para abordagem do conceito de entropia no Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 26, n. 2, p. 367-378, 2009.
Artigo científico que propõe uma abordagem probabilística para entropia.
- MONTEIRO, M. M.; MARTINS, A. F. P. História da Ciência na sala de aula: uma sequência didática sobre o conceito de inércia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 4501/1-4501/9, 2015.
Artigo científico que parte da História da ciência para discutir o conceito de inércia dos corpos.
- MONTOLI, G. A.; NETO, J. S. C. Estudo de Colisões Inelásticas por meio da Videoanálise. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 37, n. 2, p. 865-878, 2020.
Artigo científico que apresenta a análise de vídeos para avaliar uma colisão entre corpos.
- PANCIERA, D. C. *et al.* Reflexões sobre o uso de um podcast no ensino de Física em tempos pandêmicos. *Revista de Enseñanza de la Física*, Córdoba, v. 33, n. 2, p. 421-428, 2021.
Artigo científico que aborda o problema das informações falsas com termômetros infravermelhos na era da pandemia.
- PEDROSO, L. S. *et al.* Experimentos de baixo custo utilizando o aplicativo de Física Phyphox. *Latin-American Journal of Physics Education*, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 4301/1-4301/11, 2020.
Artigo científico que traz a proposta do uso de aplicativo para realização de experimentos de baixo custo no ensino de Física.

- PENA, F. L. A. Por que a onda de rádio, seja ela de Amplitude Modulada (AM) ou de Frequência Modelada (FM), é chamada de portadora? O que é uma onda portadora? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 30, n. 1, p. 209-212, 2013.
Artigo científico que parte da noção de modulação e demodulação em ondas de rádio.
- PESSOA JUNIOR, O. *Conceitos de Física Quântica*. 4. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2019. v. 1.
Livro que introduz conteúdos associados à Física Quântica, valorizando principalmente a robustez conceitual e as discussões filosófica e epistemológica associadas ao conceito apresentado.
- RODRIGUES, E. V.; TELES, H. R.; CAMILETTI, G. G. “É só para ver ou pode mexer?”: abordagem *hands-on* numa sala de acústica e *feedback* dos visitantes. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 35, n. 2, p. 660-677, 2018.
Artigo científico no qual, entre outros experimentos de acústica, apresenta-se a construção de um chinelofone.
- SANTOS, E. M.; MOLINA, C.; TUFALILE, A. P. B. Violão e guitarra como ferramentas para o ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 35, p. 2507, 2013.
Artigo científico revisando aspectos do violão e da guitarra.
- SCHEID, N. M. J.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. A construção coletiva do conhecimento científico sobre a estrutura do DNA. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 11, n. 2, p. 223-233, 2005.
Artigo científico que reconstrói as tensões e a ciência subjacentes à estrutura do DNA.
- SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Uma leitura de divulgação científica sobre ressonância magnética no ensino médio. *Revista do EDICC*, Campinas, v. 2, p. 4-14, 2014.
Artigo científico que propõe leituras de divulgação científica sobre o diagnóstico por imagem de ressonância magnética.
- SILVA, L. F.; CARVALHO, L. M. O ensino de Física a partir de temas controversos: a produção de energia elétrica em larga escala. *Interacções*, Santarém, v. 2, n. 4, p. 42-63, 2006.
Artigo científico que propõe um debate sobre a problemática da geração de energia elétrica.
- SILVEIRA, F. L. Um tema negligenciado em textos de Física Geral: a vaporização da água. *Física na Escola*, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 27-30, 2016.
Artigo que retoma a evaporação como tema relevante no estudo da Termodinâmica.
- SILVEIRA, F. L.; SARAIVA, M. F. O. O “encolhimento” das sombras. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 25, n. 2, p. 228-246, 2008.
Artigo científico no qual a mudança do tamanho da sombra e da penumbra em relação à distância de uma fonte luminosa extensa é abordada.
- SILVEIRA, M. V.; BARTHEM, R. B. Ensino da visão cromática através de aparato com LED’s coloridos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 38, n. 3, p. e3502, 2016.
Artigo científico de revisão da percepção visual das cores.
- TOLEDO, S. S.; CAVALCANTE, E. Construção de uma unidade de ensino potencialmente significativa para o experimento de Hertz. *Revista Física no Campus*, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 19-24, 2021.
Artigo científico no qual se propõe o uso do experimento de Hertz como eixo para discussão de ondas eletromagnéticas.
- VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135, 1998.
Artigo científico que apresenta propostas educacionais para a abordagem de assuntos atrelados à Física Moderna no Ensino Médio.
- VIZZOTTO, P. A.; MACKEDANZ, L. F. A compreensão da Física aplicada ao trânsito na perspectiva de egressos do Ensino Médio, alunos de cursos de primeira habilitação. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 39, n. 3, p. e3404, 2017.
Artigo científico que levanta visões de alunos do Ensino Médio sobre relações entre Física e acidentes de trânsito.
- WALKER, J. *Física divertida: uma jornada pelo maravilhoso mundo da Ciência*. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Bookman, 2017.
Coletânea de experimentos e demonstrações práticas que tornam o aprendizado da Física mais lúdico e experimental.
- YARSCHER, A. D. Recuperação de energia em academias de ginástica. *Revista Ciências do Ambiente*, Campinas, v. 2, n. 1, p. 20-25, 2006.
Artigo científico que utiliza aparelhos de academia como mecanismo de transferência de energia