

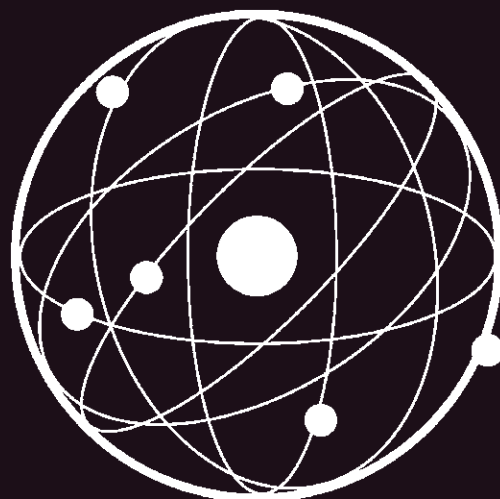
PRINCÍPIOS
de FÍSICA VOLUME 1

TRADUÇÃO DA 5ª EDIÇÃO
NORTE-AMERICANA

RAYMOND A. SERWAY
JOHN W. JEWETT, JR.



MECÂNICA
CLÁSSICA E
RELATIVIDADE



tradução da 5ª edição
norte-americana

Princípios de física



Volume I Mecânica clássica e relatividade

Raymond A. Serway

James Madison University

John W. Jewett, Jr.

California State Polytechnic University, Pomona

Tradução:

EZ2 Translate

Revisão técnica:

Márcio Maia Vilela

Doutor em Energia pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente da USP

Mestre em Física Nuclear pelo Instituto de Física da USP



Sumário

Sobre os autores vii
Prefácio ix
Ao aluno xxiii

Um convite à física 1

1 Introdução e vetores 4

- 1.1 Padrões de comprimento, massa e tempo 4
- 1.2 Análise dimensional 7
- 1.3 Conversão de unidades 9
- 1.4 Cálculos de ordem de grandeza 10
- 1.5 Algarismos significativos 11
- 1.6 Sistemas de coordenadas 12
- 1.7 Vetores e escalares 13
- 1.8 Algumas propriedades dos vetores 15
- 1.9 Componentes de um vetor e vetores unitários 17
- 1.10 Modelagem, representações alternativas e estratégia de resolução de problemas 22

Contexto 1 | **Veículos movidos a combustível alternativo** 35

2 Movimento em uma dimensão 37

- 2.1 Velocidade média 38
- 2.2 Velocidade instantânea 41
- 2.3 Modelo de análise: partícula sob velocidade constante 45
- 2.4 Aceleração 47
- 2.5 Diagramas de movimento 50
- 2.6 Modelo de análise: partícula sob aceleração constante 51
- 2.7 Corpos em queda livre 56
- 2.8 Conteúdo em contexto: aceleração exigida por consumidores 59

3 Movimento em duas dimensões 71

- 3.1 Os vetores posição, velocidade e aceleração 71
- 3.2 Movimento bidimensional com aceleração constante 73
- 3.3 Movimento de projéteis 76
- 3.4 Modelo de análise: partícula em movimento circular uniforme 83
- 3.5 Aceleração tangencial e radial 85
- 3.6 Velocidade relativa e aceleração relativa 86
- 3.7 Conteúdo em contexto: aceleração nos automóveis 89

4 As leis do movimento 101

- 4.1 O conceito de força 101
- 4.2 A Primeira Lei de Newton 103
- 4.3 Massa 105
- 4.4 A Segunda Lei de Newton 105
- 4.5 Força gravitacional e peso 108
- 4.6 A Terceira Lei de Newton 109
- 4.7 Modelos de análise utilizando a Segunda Lei de Newton 111
- 4.8 Conteúdo em contexto: aceleração em automóveis 119

5 Aplicações adicionais das Leis de Newton 131

- 5.1 Forças de atrito 131
- 5.2 Estendendo a partícula no modelo de movimento circular uniforme 136
- 5.3 Movimento circular não uniforme 143
- 5.4 Movimento na presença de forças resistivas dependentes da velocidade 145
- 5.5 As forças fundamentais da natureza 149
- 5.6 Conteúdo em contexto: coeficientes de arrasto de automóveis 151

6 Energia de um sistema 163

- 6.1 Sistemas e ambientes 164
- 6.2 Trabalho realizado por uma força constante 164
- 6.3 O produto escalar de dois vetores 167
- 6.4 Trabalho realizado por uma força variável 169
- 6.5 Energia cinética e o teorema do trabalho-energia cinética 174
- 6.6 Energia potencial de um sistema 177
- 6.7 Forças conservativas e não conservativas 182
- 6.8 Relação entre forças conservativas e energia potencial 184
- 6.9 Energia potencial para forças gravitacionais e elétricas 185
- 6.10 Diagramas de energia e equilíbrio de um sistema 188
- 6.11 Conteúdo em contexto: energia potencial em combustíveis 189

7 Conservação de energia 201

- 7.1 Modelo de análise: sistema não isolado (energia) 202
- 7.2 Modelo de análise: sistema isolado (energia) 204
- 7.3 Modelo de análise: sistema não isolado em estado estacionário (energia) 210
- 7.4 Situações que envolvem atrito cinético 212
- 7.5 Variações na energia mecânica por forças não conservativas 217
- 7.6 Potência 222
- 7.7 Conteúdo em contexto: classificação de potência de automóveis 225

Contexto 1 | **CONCLUSÃO**
Possibilidades presentes e futuras 240

Contexto 2 | **Missão para Marte** 243

8 Momento e colisões 245

- 8.1 Momento linear 245
- 8.2 Modelo de análise: sistema isolado (momento) 247
- 8.3 Modelo de análise: sistema não isolado (momento) 250
- 8.4 Colisões em uma dimensão 253
- 8.5 Colisões em duas dimensões 260
- 8.6 Centro de massa 263

- 8.7** Movimento de um sistema de partículas 267
- 8.8** Conteúdo em contexto: propulsão de foguete 270

9 Relatividade 283

- 9.1** O princípio da relatividade de Galileu 284
- 9.2** O experimento de Michelson-Morley 286
- 9.3** O princípio da relatividade de Einstein 287
- 9.4** Consequências da teoria da relatividade especial 288
- 9.5** As equações de transformação de Lorentz 296
- 9.6** Momento relativístico e forma relativística das Leis de Newton 299
- 9.7** Energia relativística 301
- 9.8** Massa e energia 304
- 9.9** Teoria geral da relatividade 305
- 9.10** Conteúdo em contexto: de Marte às estrelas 307

10 Movimento rotacional 317

- 10.1** Posição, velocidade e aceleração angulares 318
- 10.2** Modelo de análise: objeto rígido sob aceleração angular constante 320
- 10.3** Relações entre grandezas rotacionais e transicionais 322
- 10.4** Energia cinética rotacional 324
- 10.5** Produto vetorial e torque 328
- 10.6** Modelo de análise: objeto rígido em equilíbrio 332
- 10.7** Modelo de análise: objeto rígido sob a ação de um torque resultante 336

- 10.8** Considerações sobre energia no movimento rotacional 338
- 10.9** Modelo de análise: sistema não isolado (momento angular) 340
- 10.10** Modelo de análise: sistema isolado (momento angular) 344
- 10.11** Movimento de precessão dos giroscópios 347
- 10.12** Movimento de rolamento de corpos rígidos 349
- 10.13** Conteúdo em contexto: fazendo o retorno em uma nave espacial 352

11 Gravidade, órbitas planetárias e o átomo de hidrogênio 369

- 11.1** A Lei da Gravitação Universal de Newton revisitada 370
- 11.2** Modelos estruturais 373
- 11.3** Lei de Kepler 373
- 11.4** Considerações sobre energia no movimento planetário e de satélites 379
- 11.5** Espectro atômico e a teoria do hidrogênio de Bohr 383
- 11.6** Conteúdo em contexto: mudança de uma órbita circular para uma elíptica 389

Contexto 2 | CONCLUSÃO **Um plano de missão bem-sucedido 401**

Apêndices A-1

Respostas dos testes rápidos e problemas ímpares R-1

Índice remissivo I-1

Sobre os autores



Raymond A. Serway recebeu seu doutorado no Illinois Institute of Technology e é Professor Emérito na James Madison University. Em 2011, foi premiado com um grau honorífico de doutorado pela sua *alma mater*, Utica College. Em 1990, recebeu o prêmio Madison Scholar Award na James Madison University, onde lecionou por 17 anos. Dr. Serway começou sua carreira de professor na Clarkson University, onde conduziu pesquisas e lecionou de 1967 a 1980. Recebeu o prêmio Distinguished Teaching Award na Clarkson University em 1977 e o Alumni Achievement Award da Utica College em 1985. Como Cientista Convidado no IBM Research Laboratory em Zurique, Suíça, trabalhou com K. Alex Müller, que recebeu o Prêmio Nobel em 1987. Serway também foi cientista visitante no Argonne National Laboratory, onde colaborou com seu mentor e amigo, o falecido Dr. Sam Marshall. Serway é coautor de *College Physics*, nona edição; *Physics for Scientists and Engineers*, oitava edição; *Essentials of College Physics*; *Modern Physics*; terceira edição; e o livro-texto “Physics” para ensino médio, publicado por Holt McDougal. Adicionalmente, Dr. Serway publicou mais de 40 trabalhos de pesquisa no campo de Física da Matéria condensada e ministrou mais de 60 palestras em encontros profissionais. Dr. Serway e sua esposa, Elizabeth, gostam de viajar, jogar golfe, pescar, cuidar do jardim, cantar no coro da igreja e, especialmente, de passar um tempo precioso com seus quatro filhos e nove netos e, recentemente, um bisneto.



John W. Jewett, Jr. concluiu a graduação em Física na Drexel University e o doutorado na Ohio State University, especializando-se nas propriedades ópticas e magnéticas da matéria condensada. Dr. Jewett começou sua carreira acadêmica na Richard Stockton College of New Jersey, onde lecionou de 1974 a 1984. Atualmente, Professor Emérito de Física da California State Polytechnic University, em Pomona. Durante sua carreira técnica de ensino, o Dr. Jewett foi ativo em promover a educação efetiva da física. Além de receber quatro prêmios National Science Foundation, ajudou a fundar e dirigir o Southern California Area Modern Physics Institute (SCAMPI) e o Science IMPACT (Institute for Modern Pedagogy and Creative Teaching). As honrarias do Dr. Jewett incluem o Stockton Merit Award na Richard Stockton College em 1980, foi selecionado como professor de destaque na California State Polytechnic University em 1991-1992 e recebeu o prêmio de excelência no Ensino de Física Universitário da American Association of Physics Teachers (AAPT) em 1998. Em 2010, recebeu o “Alumni Achievement Award” da Universidade de Drexel em reconhecimento às suas contribuições no ensino de Física. Já apresentou mais de 100 palestras, tanto nos EUA como no exterior, incluindo múltiplas apresentações nos encontros nacionais da AAPT. Dr. Jewett é autor de *The World of Physics: Mysteries, Magic, and Myth*, que apresenta muitas conexões entre a Física e várias experiências do dia a dia. Além de seu trabalho como coautor de *Física para Cientistas e Engenheiros*, ele é também coautor de *Princípios da Física*, bem como de *Global Issues*, um conjunto de quatro volumes de manuais de instrução em ciência integrada para o ensino médio. Dr. Jewett gosta de tocar teclado com sua banda formada somente por físicos, gosta de viagens, fotografia subaquática, aprender idiomas estrangeiros e colecionar aparelhos médicos antigos que podem ser utilizados como aparatos em suas aulas. O mais importante, ele adora passar o tempo com sua esposa, Lisa, e seus filhos e netos.

Prefácio

Princípios de Física foi criado como um curso introdutório de Física de um ano baseado em cálculo para alunos de engenharia e ciência e para alunos de pré-medicina fazendo cursos rigorosos de física. Esta edição traz muitas características pedagógicas novas, notadamente um sistema de aprendizagem web integrado, uma estratégia estruturada para resolução de problemas que use uma abordagem de modelagem. Baseado em comentários de usuários da edição anterior e sugestões de revisores, um esforço foi realizado para melhorar a organização, clareza de apresentação, precisão da linguagem e acima de tudo exatidão.

Este livro-texto foi inicialmente concebido em função dos problemas mais conhecidos no ensino do curso introdutório de Física baseada em cálculo. O conteúdo do curso (e portanto o tamanho dos livros didáticos) continua a crescer, enquanto o número das horas de contato com os alunos ou diminuiu ou permaneceu inalterado. Além disso, um curso tradicional de um ano aborda um pouco de toda a Física além do século XIX.

Ao preparar este livro-texto, fomos motivados pelo interesse disseminado de reformar o ensino e aprendizado da Física por meio de uma pesquisa de educação em Física (PER). Um esforço nessa direção foi o Projeto Introdutório da Universidade de Física (IUPP), patrocinado pela Associação Norte-Americana de Professores de Física e o Instituto Norte-Americano de Física. Os objetivos principais e diretrizes deste projeto são:

- Conteúdo do curso reduzido seguindo o tema “menos pode ser mais”;
- Incorporar naturalmente Física contemporânea no curso;
- Organizar o curso no contexto de uma ou mais “linhas de história”;
- Tratar igualmente a todos os alunos.

Ao reconhecer há vários anos a necessidade de um livro didático que pudesse alcançar essas diretrizes, estudamos os diversos modelos IUPP propostos e os diversos relatórios dos comitês IUPP. Eventualmente, um de nós (Serway) esteve envolvido ativamente na revisão e planejamento de um modelo específico, inicialmente desenvolvido na Academia da Força Aérea dos Estados Unidos, intitulado “A Particles Approach to Introductory Physics”. Uma visita prolongada à Academia foi realizada com o Coronel James Head e o Tenente Coronel Rolf Enger, os principais autores do modelo de partículas, e outros membros desse departamento. Esta colaboração tão útil foi o ponto inicial deste projeto.

O outro autor (Jewett) envolveu-se com o modelo IUPP chamado “Physics in Context”, desenvolvido por John Rigden (American Institute of Physics), David Griffiths (Universidade Estadual de Oregon) e Lawrence Coleman (University of Arkansas em Little Rock). Este envolvimento levou a Fundação Nacional de Ciência (NSF) a conceder apoio para o desenvolvimento de novas abordagens contextuais e, eventualmente, à sobreposição contextual usada neste livro e descrita com detalhes posteriormente no prefácio.

O enfoque combinado no IUPP deste livro tem as seguintes características:

- É uma abordagem evolucionária (em vez de uma abordagem revolucionária), que deve reunir as demandas atuais da comunidade da Física.
- Ela exclui diversos tópicos da Física clássica (como circuitos de corrente alternada e instrumentos ópticos) e coloca menos ênfase no movimento de objetos rígidos, óptica e termodinâmica.
- Alguns tópicos na Física contemporânea, como forças fundamentais, relatividade especial, quantização de energia e modelo do átomo de hidrogênio de Bohr, são introduzidos no início deste livro.
- Uma tentativa deliberada é feita ao mostrar a unidade da Física e a natureza geral dos princípios da Física.
- Como ferramenta motivacional, o livro conecta aplicações dos princípios físicos a situações biomédicas interessantes, questões sociais, fenômenos naturais e avanços tecnológicos.

Outros esforços para incorporar os resultados da pesquisa em educação em Física tem levado a várias das características deste livro descritas a seguir. Isto inclui Testes Rápidos, Perguntas Objetivas, Prevenção de Armadilhas, E Se?, recursos nos exemplos de trabalho, o uso de gráficos de barra de energia, a abordagem da modelagem para solucionar problemas e a abordagem geral de energia introduzida no Capítulo 7.

| Objetivos

Este livro didático de Física introdutória tem dois objetivos principais: fornecer ao aluno uma apresentação clara e lógica dos conceitos e princípios básicos da Física e fortalecer a compreensão dos conceitos e princípios por meio de uma ampla gama de aplicações interessantes para o mundo real. Para alcançar esses objetivos, enfatizamos argumentos físicos razoáveis e a metodologia de resolução de problemas. Ao mesmo tempo, tentamos motivar o aluno por meio de exemplos práticos que demonstram o papel da Física em outras disciplinas, entre elas, engenharia, química e medicina.

| Alterações para esta edição

Inúmeras alterações e melhorias foram feitas nesta edição. Muitas delas são em resposta a descobertas recentes na pesquisa em educação de Física e a comentários e sugestões proporcionadas pelos revisores do manuscrito e professores que utilizaram as primeiras quatro edições. A seguir são representadas as maiores mudanças nesta quinta edição:

Novos contextos. O contexto que cobre a abordagem é descrito em “Organização”. Esta edição introduz dois novos Contextos: para o Capítulo 15 (no volume 2 desta coleção), “Ataque cardíaco”, e para os Capítulos 22-23 (volume 3), “Magnetismo e Medicina”. Ambos os novos Contextos têm como objetivo a aplicação dos princípios físicos no campo da biomedicina.

No Contexto “Ataque cardíaco”, estudamos o fluxo de fluidos através de um tubo, como analogia ao fluxo de sangue através dos vasos sanguíneos no corpo humano. Vários detalhes do fluxo sanguíneo são relacionados aos perigos de doenças cardiovasculares. Além disso, discutimos novos desenvolvimentos no estudo do fluxo sanguíneo e ataques cardíacos usando nanopartículas e imagem computadorizada.

O contexto de “Magnetismo em Medicina” explora a aplicação dos princípios do eletromagnetismo para diagnóstico e procedimentos terapêuticos em medicina. Começamos focando em usos históricos para o magnetismo, incluindo vários dispositivos médicos questionáveis. Mais aplicações modernas incluem procedimentos de navegação magnética remota em ablação de catéter cardíaco para fibrilação atrial, simulação magnética transcraniana para tratamento de depressão e imagem de ressonância magnética como ferramenta de diagnóstico.

Exemplos trabalhados. Todos os exemplos trabalhados no texto foram reformulados e agora são apresentados em um formato de duas colunas para reforçar os conceitos da Física. A coluna da esquerda mostra informações textuais que descrevem as etapas para a resolução do problema. A coluna da direita mostra as manipulações matemáticas e os resultados dessas etapas. Esse *layout* facilita a correspondência do conceito com sua execução matemática e ajuda os alunos a organizarem seu trabalho. Os exemplos seguem rigorosamente a Estratégia Geral de Resolução de Problemas apresentada no Capítulo 1 para reforçar hábitos eficazes de resolução de problemas. Na maioria dos casos, os exemplos são resolvidos simbolicamente até o final, em que valores numéricos são substituídos pelos resultados simbólicos finais. Este procedimento permite ao aluno analisar o resultado simbólico para ver como o resultado depende dos parâmetros do problema, ou para tomar limites para testar o resultado final e correções. A maioria dos exemplos trabalhados no texto pode ser atribuída à tarefa de casa no Enhanced WebAssign. Uma amostra de um exemplo trabalhado encontra-se na próxima página.

Revisão linha a linha do conjunto de perguntas e problemas. Para esta edição, os autores revisaram cada pergunta e cada problema e incorporaram revisões destinadas a melhorar tanto a legibilidade como a transmissibilidade. Para tornar os problemas mais claros para alunos e professores, este amplo processo envolveu edição de problemas para melhorar a clareza, adicionando figuras, quando apropriado, e introduzindo uma melhor arquitetura de problema, ao quebrá-lo em partes claramente definidas.

Dados do Enhanced WebAssign utilizados para melhorar perguntas e problemas. Como parte da análise e revisão completa do conjunto de perguntas e problemas, os autores utilizaram diversos dados de usuários coletados pelo WebAssign, tanto de professores quanto de alunos que trabalharam nos problemas das edições anteriores do *Princípios de Física*. Esses dados ajudaram tremendamente, indicando quando a frase nos problemas poderia ser mais clara, fornecendo, desse modo, uma orientação sobre como revisar problemas de maneira que seja mais facilmente compreendida pelos alunos e mais facilmente transmitida pelos professores no WebAssign. Por último, os dados foram utilizados para garantir que os problemas transmitidos com mais frequência fossem mantidos nesta nova

WebAssign Mais exemplos também estão disponíveis para serem atribuídos como interativos no sistema de gestão de lição de casa avançada WebAssign.

Cada solução foi escrita para acompanhar de perto a Estratégia Geral de Solução de Problemas, descrita no Capítulo 1, de modo que reforce os bons hábitos de resolução de problemas.

Cada passo da solução encontra-se detalhada em um formato de duas colunas. A coluna da esquerda fornece uma explicação para cada etapa matemática da coluna da direita, para melhor reforçar os conceitos físicos.

Exemplo 6.6 | Um bloco empurrado sobre uma superfície sem atrito

Um bloco de 6,0 kg inicialmente em repouso é puxado para a direita ao longo de uma superfície horizontal sem atrito por uma força horizontal constante de 12 N. Encontre a velocidade escalar do bloco após ele ter se movido 3,0 m.

SOLUÇÃO

Conceitualização A Figura 6.14 ilustra essa situação. Imagine puxar um carro de brinquedo por uma mesa horizontal com um elástico amarrado na frente do carrinho. A força é mantida constante ao se certificar que o elástico esticado tenha sempre o mesmo comprimento.

Categorização Poderíamos aplicar as equações da cinemática para determinar a resposta, mas vamos praticar a abordagem de energia. O bloco é o sistema e três forças externas agem sobre ele. A força normal equilibra a força gravitacional no bloco e nenhuma dessas forças que agem verticalmente realizam trabalho sobre o bloco, pois seus pontos de aplicação são deslocados horizontalmente.

Análise A força externa resultante que age sobre o bloco é a força horizontal de 12 N.

Use o teorema do trabalho-energia cinética para o bloco, observando que sua energia cinética inicial é zero:

$$W_{\text{ext}} = K_f - K_i = \frac{1}{2}mv_f^2 - 0 = \frac{1}{2}mv_f^2$$

Resolva para encontrar v_f e use a Equação 6.1 para o trabalho realizado sobre o bloco por \vec{F} :

$$v_f = \sqrt{\frac{2W_{\text{ext}}}{m}} = \sqrt{\frac{2F\Delta x}{m}}$$

Substitua os valores numéricos:

$$v_f = \sqrt{\frac{2(12\text{ N})(3,0\text{ m})}{6,0\text{ kg}}} = 3,5\text{ m/s}$$

Finalização Seria útil para você resolver esse problema novamente considerando o bloco como uma partícula sob uma força resultante para encontrar sua aceleração e depois como uma partícula sob aceleração constante para encontrar sua velocidade final.

E se? Suponha que o módulo da força nesse exemplo seja dobrada para $F' = 2F$. O bloco de 6,0 kg acelera a 3,5 m/s em razão dessa força aplicada enquanto se move por um deslocamento $\Delta x'$. Como o deslocamento $\Delta x'$ se compara com o deslocamento original Δx ?

Resposta Se puxar forte, o bloco deve acelerar a uma determinada velocidade escalar em uma distância mais curta, portanto, esperamos que $\Delta x' < \Delta x$. Em ambos os casos, o bloco sofre a mesma mudança na energia cinética ΔK . Matematicamente, pelo teorema do trabalho-energia cinética, descobrimos que

$$W_{\text{ext}} = F'\Delta x' = \Delta K = F\Delta x$$

$$\Delta x' = \frac{F}{F'}\Delta x = \frac{F}{2F}\Delta x = \frac{1}{2}\Delta x$$

e a distância é menor que a sugerida por nosso argumento conceitual.

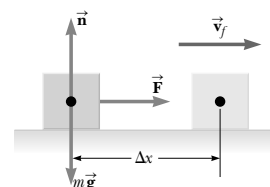


Figura 6.14 (Exemplo 6.6) Um bloco é puxado para a direita sobre uma superfície sem atrito por uma força horizontal constante.

E se? Afirmações aparecem em cerca de 1/3 dos exemplos trabalhados e oferecem uma variação da situação colocada no texto de exemplo. Por exemplo, esse recurso pode explorar os efeitos da alteração das condições da situação, determinar o que acontece quando uma quantidade é levada para um valor limite particular, ou perguntar se a informação adicional pode ser determinada com a situação problema. Este recurso incentiva os alunos a pensar sobre os resultados do exemplo e auxilia na compreensão conceitual dos princípios.

O resultado final são símbolos; valores numéricos são substituídos no resultado final.

edição. No conjunto de problemas de cada capítulo, o quartil superior dos problemas no WebAssign tem números **sombreados** para fácil identificação, permitindo que professores encontrem mais rápido e facilmente os problemas mais populares do WebAssign.

Para ter uma ideia dos tipos das melhorias que foram feitas, eis um problemas da quarta edição, seguido pelo problema como aparece nesta edição, com explicações de como eles foram aprimorados.

Problemas da quarta edição...

35. (a) Considere um objeto extenso cujas diferentes porções têm diversas elevações. Suponha que a aceleração da gravidade seja uniforme sobre o objeto. Prove que a energia potencial gravitacional do sistema Terra-corpo é dada por $U = Mgy_{CM}$, em que M é a massa total do corpo e y_{CM} é a posição de seu centro de massa acima do nível de referência escolhido. (b) Calcule a energia potencial gravitacional associada a uma rampa construída no nível do solo com pedra de densidade $3\,800\text{ kg/m}^3$ e largura uniforme de $3,60\text{ m}$ (Figura P8.35). Em uma visão lateral, a rampa aparece como um triângulo retângulo com altura de $15,7\text{ m}$ na extremidade superior e base de $64,8\text{ m}$.

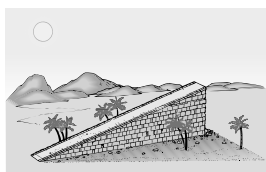


Figura P8.35

... Após a revisão para a quinta edição:

37. Exploradores da floresta encontram um monumento antigo na forma de um grande triângulo isósceles, como mostrado na Figura P8.37. O monumento é feito de dezenas de milhares de pequenos blocos de pedra de densidade $3\,800\text{ kg/m}^3$. Ele tem $15,7\text{ m}$ de altura e $64,8\text{ m}$ de largura em sua base, com espessura de $3,60\text{ m}$ em todas as partes ao longo do momento. Antes de o monumento ser construído muitos anos atrás, todos os blocos de pedra foram colocados no solo. Quanto trabalho os construtores tiveram para colocar os blocos na posição durante a construção do monumento todo? *Observação:* A energia potencial gravitacional de um sistema corpo-Terra é definida por $U_g = Mgy_{CM}$, onde M é a massa total do corpo e y_{CM} é a elevação de seu centro de massa acima do nível de referência escolhido.

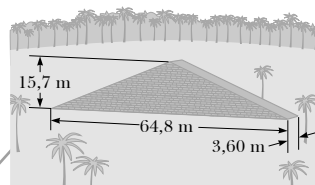


Figura P8.37

É fornecido um enredo para o problema.

A quantidade solicitada é requerida de forma mais pessoal, perguntando o trabalho realizado pelos homens, em vez de perguntar a energia potencial gravitacional.

A expressão para a energia potencial gravitacional é fornecida, enquanto no original era solicitado que esta fosse provada. Isso permite que o problema funcione melhor no Enhanced WebAssign.

A figura foi revisada e as dimensões foram acrescentadas.

Organização de perguntas revisadas. Reorganizamos os conjuntos de perguntas de final do capítulo para esta nova edição. A seção de Perguntas da edição anterior está agora dividida em duas seções: Perguntas Objetivas e Perguntas Conceituais.

Perguntas objetivas são de múltipla escolha, verdadeiro/falso, classificação, ou outros tipos de perguntas de múltiplas suposições. Algumas requerem cálculos projetados para facilitar a familiaridade dos alunos com as equações, as variáveis utilizadas, os conceitos que as variáveis representam e as relações entre os conceitos. Outras são de natureza mais conceitual e são elaboradas para encorajar o pensamento conceitual. As perguntas objetivas também são escritas tendo em mente o usuário do sistema de respostas pessoais e a maioria das perguntas poderia ser facilmente utilizada nesses sistemas.

Perguntas conceituais são mais tradicionais, com respostas curtas e do tipo dissertativo, exigindo que os alunos pensem conceitualmente sobre uma situação física.

Problemas. Os problemas do final de capítulo são mais numerosos nesta edição e mais variados (no total, mais de 2 200 problemas são dados durante toda a coleção). Para conveniência tanto do aluno como do professor, cerca de dois terços dos problemas são ligados a seções específicas do capítulo, incluindo a seção Conteúdo em contexto. Os problemas restantes, chamados “Problemas Adicionais”, não se referem a seções específicas. O ícone **BIO** identifica problemas que lidam com aplicações reais na ciência e medicina. As respostas dos problemas ímpares são fornecidas no final do livro. Para identificação facilitada, os números dos problemas simples estão impressos em preto; os números de problemas de nível intermediário estão impressos em cinza; e os de problemas desafiadores estão impressos em cinza sublinhado.

Novos tipos de problemas. Apresentamos quatro novos tipos de problemas nesta edição:

Q|C Problemas quantitativos e conceituais contêm partes que fazem com que os alunos pensem tanto quantitativa quanto conceitualmente. Um exemplo de problema Quantitativo e Conceitual aparece aqui:

55. **Q|C** Uma mola horizontal presa a uma parede tem constante de força $k = 850 \text{ N/m}$. Um bloco de massa $m = 1,00 \text{ kg}$ é preso na mola e repousa sobre uma superfície horizontal sem atrito, como mostrado na Figura P7.55. (a) O bloco é puxado até uma posição $x_i = 6,00 \text{ cm}$ do equilíbrio e liberado. Encontre a energia potencial elástica armazenada na mola quando o bloco está a $6,00 \text{ cm}$ do equilíbrio e quando ele passa pelo equilíbrio. (b) Encontre a velocidade do bloco quando ele passa pelo ponto de equilíbrio. (c) Qual a velocidade do bloco quando está a uma posição $x_i/2 = 3,00 \text{ cm}$? (d) Por que a resposta à parte (c) não é a metade da resposta à parte (b)?

O problema é identificado com um ícone **Q|C**.

As partes (a) – (c) do problema pedem cálculos quantitativos.

A parte (d) faz uma pergunta conceitual sobre a situação.

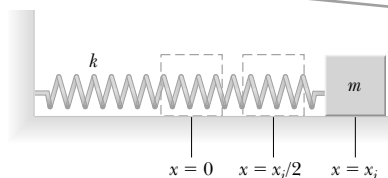


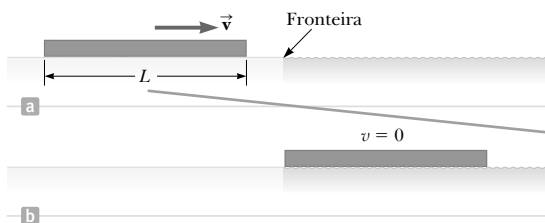
Figura P7.55

S **Problemas simbólicos** pedem que os alunos os resolvam utilizando apenas manipulação simbólica. A maioria dos entrevistados na pesquisa pediu especificamente um aumento no número de problemas simbólicos encontrados no livro, pois isso reflete melhor a maneira como os professores querem que os alunos pensem quando resolvem problemas de Física. Um exemplo de problema simbólico aparece aqui:

O problema é identificado por um ícone **S**.

57. **S** **Revisão.** Uma tábua uniforme de comprimento L está deslizando ao longo de um plano horizontal suave e sem atrito, como mostrado na Figura P7.57a. A tábua então desliza através da fronteira com superfície horizontal áspera. O coeficiente de atrito cinético entre a tábua e a segunda superfície é μ_k . (a) Encontre a aceleração da tábua no momento em que sua parte dianteira tenha viajado uma distância x além da divisa. (b) A tábua para no instante em que sua traseira atinge a divisa, como mostrado na Figura P7.57b. Encontre a velocidade inicial v da tábua.

Nenhum número aparece no enunciado do problema.



A figura mostra apenas quantidades simbólicas.

Figura P7.57

A resposta do problema é puramente simbólica.

57. (a) $-\mu_k g x/L$ (b) $(\mu_k g L)^{1/2}$

PD **Problemas dirigidos** ajudam os alunos a decompor os problemas em etapas. Um típico problema de Física pede uma quantidade física em um determinado contexto. Entretanto, frequentemente, diversos conceitos devem ser utilizados e inúmeros cálculos são necessários para obter essa resposta final. Muitos alunos não estão acostumados a esse nível de complexidade e frequentemente não sabem por onde começar. Um problema dirigido divide um problema-padrão em passos menores, o que permite que os alunos apreendam todos os conceitos e estratégias necessários para chegar à solução correta. Diferentemente dos problemas de Física padrão, a orientação é frequentemente

28. **PD** Uma viga uniforme repousando em dois pinos tem comprimento $L = 6,00$ m e massa $M = 90,0$ kg. O pino à esquerda exerce uma força normal n_1 sobre a viga, e o outro, localizado a uma distância $\ell = 4,00$ m da extremidade esquerda, exerce uma força normal n_2 . Uma mulher de massa $m = 55,0$ kg pisa na extremidade esquerda da viga e começa a caminhar para a direita, como na Figura P10.28. O objetivo é encontrar a posição da mulher quando a viga começa a inclinar. (a) Qual é o modelo de análise apropriado para a viga antes de começar a inclinar? (b) Esboce um diagrama de força para a viga, rotulando as forças gravitacionais e normais agindo sobre ela e posicionando a mulher a uma distância x à direita do primeiro pino, que é a origem. (c) Onde está a mulher quando a força normal n_1 é maior? (d) Qual é n_1 quando a viga está prestes a inclinar? (e) Use a Equação 10.27 para encontrar o valor de n_2 quando a viga está prestes a inclinar. (f) Usando o resultado da parte (d) e a Equação 10.28, com torques calculados em torno do segundo pino, encontre a posição x da mulher quando a viga está prestes a inclinar. (g) Verifique a resposta para a parte (e) calculando os torques em torno do ponto do primeiro pino.

O problema é identificado com um ícone **PD**.

O objetivo do problema é identificado.

A análise começa com a identificação do modelo de análise apropriado.

São fornecidas sugestões de passos para resolver o problema.

O cálculo associado ao objetivo é solicitado.

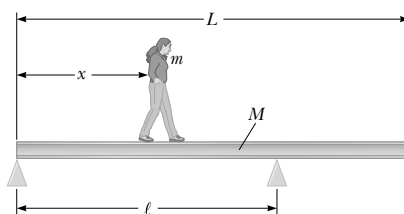


Figura P10.28

incorporada no enunciado do problema. Os problemas dirigidos são lembretes de como um aluno pode interagir com um professor em seu escritório. Esses problemas (há um em cada capítulo do livro) ajudam a treinar os alunos a decompor problemas complexos em uma série de problemas mais simples, uma habilidade essencial para a resolução de problemas. Um exemplo de problema dirigido aparece acima.

Problemas de impossibilidade. A pesquisa educacional em Física enfatiza pesadamente as habilidades dos alunos para resolução de problemas. Embora a maioria dos problemas deste livro esteja estruturada de maneira a fornecer dados e pedir um resultado de cálculo, dois problemas em cada capítulo, em média, são estruturados como problemas de impossibilidade. Eles começam com a frase *Por que a seguinte situação é impossível?* Ela é seguida pela descrição de uma situação. O aspecto impactante desses problemas é que não é feita nenhuma pergunta aos alunos a não ser o que está em itálico inicial. O aluno deve determinar quais perguntas devem ser feitas e quais cálculos devem ser efetuados. Com base nos resultados desses cálculos, o aluno deve determinar por que a situação descrita não é possível. Essa determinação pode requerer informações de experiência pessoal, senso comum, pesquisa na Internet ou em impresso, medição, habilidades matemáticas, conhecimento das normas humanas ou pensamento científico.

Esses problemas podem ser designados para criar habilidades de pensamento crítico nos alunos. Eles são também engraçados, tendo o aspecto de “mistérios” da física para serem resolvidos pelos alunos individualmente ou em grupos. Um exemplo de problema de impossibilidade aparece aqui:

A fase inicial em itálico sinaliza um problema de impossibilidade.

Uma situação é descrita

51. *Por que a seguinte situação é impossível?* Albert Pujols acerta um *home run* de maneira que a bola ultrapassa a fileira superior da arquibancada, a 24,0 m de altura, localizada a 130 m da base principal. A bola foi batida a 41,7 m/s em um ângulo de 35,0° com a horizontal e a resistência do ar é desprezível.

Nenhuma pergunta é feita. O estudante deve determinar o que deve ser calculado e porque a situação é impossível.

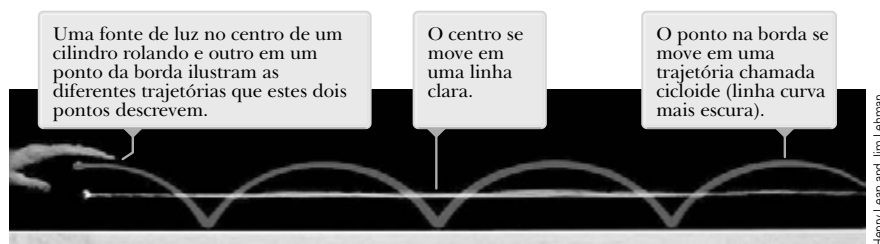


Figura 10.28 Dois pontos em um cilindro rolando tomam trajetórias diferentes através do espaço.

Maior número de problemas emparelhados. Com base no parecer positivo que recebemos em uma pesquisa de mercado, aumentamos o número de problemas emparelhados nesta edição. Esses problemas são de outro modo idênticos, um pedindo uma solução numérica e o outro, uma derivação simbólica. Existem agora três pares desses problemas na maioria dos capítulos, indicados pelo sombreado mais escuro no conjunto de problemas do final de capítulo.

Revisão minuciosa das ilustrações. Cada ilustração desta edição foi revisada com um estilo novo e moderno, ajudando a expressar os princípios da Física de maneira clara e precisa. Cada ilustração também foi revisada para garantir que as situações físicas apresentadas correspondam exatamente à proposição do texto sendo discutido.

Também foi acrescentada nesta edição uma nova característica: “indicadores de foco”, que indicam aspectos importantes de uma figura ou guiam os alunos por um processo ilustrado pela arte ou foto. Esse formato ajuda os alunos que aprendem mais facilmente utilizando o sentido da visão. Exemplos de figuras com indicadores de foco aparecem a seguir.

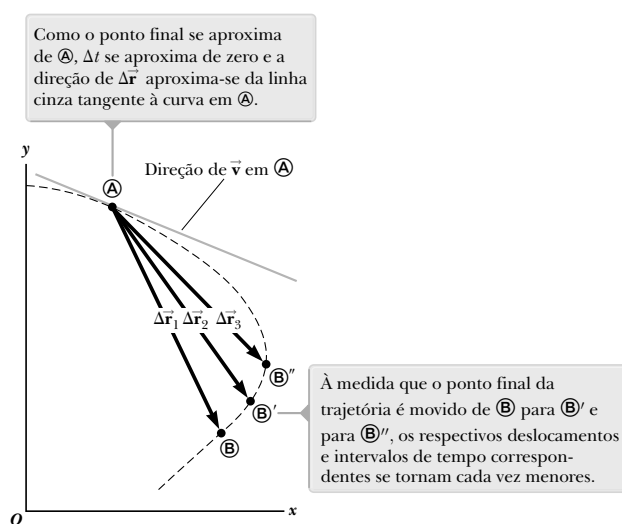


Figura 3.2 Como uma partícula se move entre dois pontos, sua velocidade média é na direção do vetor deslocamento $\Delta \vec{r}$. Por definição, a velocidade instantânea em \textcircled{A} é direcionada ao longo da linha tangente à curva em \textcircled{A} .

Expansão da abordagem do modelo de análise. Os alunos são expostos a centenas de problemas durante seus cursos de Física. Os professores têm consciência de que um número relativamente pequeno de princípios fundamentais formam a base desses problemas. Quando está diante de um problema novo, um físico forma um modelo que pode ser resolvido de maneira simples, identificando os princípios fundamentais aplicáveis ao problema. Por exemplo, muitos problemas envolvem a conservação da energia, a segunda lei de Newton ou equações cinemáticas. Como o físico já estudou esses princípios extensamente e entende as aplicações associadas, ele pode aplicar o conhecimento como um modelo para resolução de um problema novo.

Embora fosse ideal que os alunos seguissem o mesmo processo, a maioria deles tem dificuldade em se familiarizar com toda a gama de princípios fundamentais disponíveis. É mais fácil para os alunos identificar uma situação do que um princípio fundamental. A abordagem de Modelo de Análise que enfocamos nesta revisão mostra um conjunto de situações que aparecem na maioria dos problemas de Física. Essas situações baseiam-se na “entidade” e um dos quatro modelos de simplificação: partícula, sistema, objeto rígido e onda.

Uma vez identificado o modelo de simplificação, o aluno pensa no que a “entidade” está fazendo ou em como ela interage com seu ambiente, o que leva o aluno a identificar um modelo de análise em particular para o problema. Por exemplo, se o objeto estiver caindo, ele é modelado como uma partícula. Ele está em aceleração constante por causa da gravidade. O aluno aprendeu que essa situação é descrita pelo modelo de análise de uma partícula sob aceleração constante. Além disso, esse modelo tem um número pequeno de equações associadas para serem usadas na resolução dos problemas, as equações cinemáticas no Capítulo 2. Por essa razão, uma compreensão da situação levou a um modelo de análise, que identifica um número muito pequeno de equações para solucionar o problema em vez da grande quantidade de equações que os alunos veem no capítulo. Desse modo, a utilização de modelos de análise leva o aluno ao princípio fundamental que o físico identificaria. Conforme o aluno ganha mais experiência, ele dependerá menos da abordagem de modelo de análise e começará a identificar os princípios fundamentais diretamente, como o físico faz. Essa abordagem também é reforçada no resumo do final de capítulo sob o título Modelo de Análise para Resolução de Problemas.

Mudanças de conteúdo. O conteúdo e a organização do livro didático são essencialmente os mesmos da quarta edição. Diversas seções em vários capítulos foram dinamizadas, excluídas ou combinadas com outras seções para permitir uma apresentação mais equilibrada. Os Capítulos 6 e 7 foram completamente reorganizados para preparar alunos para uma abordagem unificada para a energia que é usada ao longo do texto. Atualizações foram acrescentadas para refletir o estado atual de várias áreas de pesquisa e aplicação da Física, incluindo uma nova seção sobre a matéria escura e informações sobre descobertas de novos objetos do cinto de Kuiper, comparação de teorias de concorrentes de percepção de campo em humanos, progresso na utilização de válvulas de grade de luz (GLV) para aplicações ópticas, novos experimentos para procurar a radiação de fundo cósmico, desenvolvimentos na procura de evidências do plasma *quark-gluon*, e o *status* do Acelerador de Partículas (LHC).

| Organização

Temos incorporado um esquema de “sobreposição de contexto” no livro didático, em resposta à abordagem “Física em Contexto” na IUPP. Esta característica adiciona aplicações interessantes do material em usos reais. Temos desenvolvido esta característica flexível; é uma “sobreposição” no sentido que o professor que não quer seguir a abordagem contextual possa simplesmente ignorar as características contextuais adicionais sem sacrificar completamente a cobertura do material existente. Acreditamos, no entanto, que muitos alunos serão beneficiados com esta abordagem.

A organização de sobreposição de contexto divide toda a coleção (31 capítulos no total, divididos em quatro volumes) em nove seções, ou “Contextos”, após o Capítulo 1, conforme a seguir:

Número do contexto	Contexto	Tópicos de Física	Capítulos
1	Veículos de combustível alternativo	Mecânica clássica	2-7
2	Missão para Marte	Mecânica clássica	8-11
3	Terremotos	Vibrações e ondas	12-14
4	Ataques cardíacos	Fluidos	15
5	Aquecimento global	Termodinâmica	16-18
6	Raios	Eletricidade	19-21
7	Magnetismo na medicina	Magnetismo	22-23
8	Lasers	Óptica	24-27
9	A conexão cósmica	Física moderna	28-31

Cada Contexto começa com uma seção introdutória que proporciona uma base histórica ou faz uma conexão entre o tópico do Contexto e questões sociais associadas. A seção introdutória termina com uma “pergunta central” que motiva o estudo dentro do Contexto. A seção final de cada capítulo é uma “Conexão com o contexto”, que discute como o material específico no capítulo se relaciona com o Contexto e com a pergunta central. O capítulo final em cada Contexto é seguido por uma “Conclusão do Contexto”. Cada conclusão aplica uma combinação dos princípios aprendidos nos diversos capítulos do Contexto para responder de forma completa a pergunta central. Cada capítulo e suas respectivas Conclusões incluem problemas relacionados ao material de contexto.

Características do texto

A maioria dos professores acredita que o livro didático selecionado para um curso deve ser o guia principal do aluno para a compreensão e aprendizagem do tema. Além disso, o livro didático deve ser facilmente acessível e deve ser estilizado e escrito para facilitar a instrução e a aprendizagem. Com esses pontos em mente, incluímos muitos recursos pedagógicos, relacionados abaixo, que visam melhorar sua utilidade tanto para alunos quanto para professores.

Resolução de problemas e compreensão conceitual

Estratégia geral de resolução de problemas. A estratégia geral descrita no final do Capítulo 1 oferece aos alunos um processo estruturado para a resolução de problemas. Em todos os outros capítulos, a estratégia é empregada em cada exemplo de maneira que os alunos possam aprender como ela é aplicada. Os alunos são encorajados a seguir essa estratégia ao trabalhar nos problemas de final de capítulo.

Na maioria dos capítulos, as estratégias e sugestões mais específicas estão incluídas para solucionar os tipos de problemas caracterizados nos problemas de final de capítulo. Esta característica ajuda aos alunos a identificar as etapas essenciais para solucionar problemas e aumenta suas habilidades como solucionadores de problemas.

Pensando em Física. Temos incluído vários exemplos de Pensando em Física ao longo de cada capítulo. Essas perguntas relacionam os conceitos físicos a experiências comuns ou estendem os conceitos além do que é discutido no material textual. Imediatamente após cada uma dessas perguntas há uma seção “Raciocínio” que responde à pergunta. Preferencialmente, o aluno usará estas características para melhorar o entendimento dos conceitos físicos antes de começar a apresentação de exemplos quantitativos e problemas para solucionar em casa.

Figuras ativas. Muitos diagramas do texto foram animados para se tornarem Figura Ativas (identificadas na legenda da figura), parte do sistema de tarefas de casa on-line Enhanced WebAssign. Vendo animações de fenômenos de processos que não podem ser representados completamente numa página estática, os alunos aumentam muito o seu entendimento conceitual. Além disso, com as animações de figuras, os alunos podem ver o resultado da mudança de variáveis, explorações de conduta sugeridas dos princípios envolvidos na figura e receber o *feedback* em testes relacionados à figura.

Testes rápidos. Os alunos têm a oportunidade de testar sua compreensão dos conceitos da Física apresentados por meio de Testes Rápidos. As perguntas pedem que os alunos tomem decisões com base no raciocínio sólido, e algumas delas foram elaboradas para ajudá-los a superar conceitos errôneos. Os Testes Rápidos foram moldados em um formato objetivo, incluindo testes de múltipla escolha, falso e verdadeiro e de classificação. As respostas de todas as perguntas no Teste Rápido encontram-se no final do texto. Muitos professores preferem utilizar tais perguntas em um estilo de “interação com colega” ou com a utilização do sistema de respostas pessoais por meio de *clickers*, mas elas também podem ser usadas no formato padrão de *quiz*. Um exemplo de Teste Rápido é apresentado a seguir.

TESTE RÁPIDO 6.5 Um dardo é inserido em uma pistola de dardos de mola, empurrando a mola por uma distância x . Na próxima carga, a mola é comprimida a uma distância $2x$. Quanto mais rápido o segundo dardo sai da arma em comparação com o primeiro? (a) quatro vezes mais (b) duas vezes mais (c) o mesmo (d) metade (e) um quarto

Prevenção de armadilhas. Mais de 150 Prevenções de Armadilhas (tais como a que se encontra à direita) são fornecidas para ajudar os alunos a evitar erros e equívocos comuns. Esses recursos, que são colocados nas margens do texto, tratam tanto dos conceitos errôneos mais comuns dos alunos quanto de situações nas quais eles frequentemente seguem caminhos que não são produtivos.

Resumos. Cada capítulo contém um resumo que revisa os conceitos e equações importantes vistos no capítulo. Nova na quinta edição é a seção do Resumo Modelo de Análise para solução de problemas, que ressalta os modelos de análise relevantes apresentados num dado capítulo.

Perguntas. Como mencionado nas edições anteriores, a seção de perguntas da edição anterior agora está dividida em duas: Perguntas Objetivas e Perguntas Conceituais. O professor pode selecionar itens para atribuir como tarefa de casa ou utilizar em sala de aula, possivelmente com métodos de “instrução

Prevenção de Armadilhas | 1.1

Valores sensatos

Gerar intuição sobre valores normais de quantidades ao resolver problemas é importante porque se deve pensar no resultado final e determinar se ele parece sensato. Por exemplo, se estiver calculando a massa de uma mosca e chegar a um valor de 100 kg, essa resposta é *insensata* e há um erro em algum lugar.

de grupo” e com sistemas de resposta pessoal. Mais de setecentas Perguntas Objetivas e Conceituais foram incluídas nesta edição.

Problemas. Um conjunto extenso de problemas foi incluído no final de cada capítulo; no total, esta edição contém mais de 2 200 problemas. As respostas dos problemas ímpares são fornecidas no final do livro.

Além dos novos tipos de problemas mencionados anteriormente, há vários outros tipos de problemas caracterizados no texto:

- **Problemas Biomédicos.** Acrescentamos vários problemas relacionados a situações biomédicas nesta edição (cada um relacionado a um ícone **BIO**), para destacar a relevância dos princípios da Física aos alunos que seguem este curso e vão se formar em uma das ciências humanas.
- **Problemas Emparelhados.** Como ajuda para o aprendizado dos alunos em solucionar problemas simbolicamente, problemas numericamente emparelhados e problemas simbólicos são incluídos em todos os capítulos do livro. Os problemas emparelhados são identificados por um fundo comum.
- **Problemas de revisão.** Muitos capítulos incluem problemas de revisão que pedem que o aluno combine conceitos vistos no capítulo atual com os discutidos nos capítulos anteriores. Esses problemas (marcados como Revisão) refletem a natureza coesa dos princípios no texto e garantem que a Física não é um conjunto espalhado de ideias. Ao enfrentar problemas do mundo real, como o aquecimento global e as armas nucleares, pode ser necessário contar com ideias da Física de várias partes de um livro didático como este.
- **“Problemas de Fermi”.** Um ou mais problemas na maioria dos capítulos pedem que o aluno raciocine em termos de ordem de grandeza.
- **Problemas de projeto.** Vários capítulos contêm problemas que pedem que o aluno determine parâmetros de projeto para um dispositivo prático de maneira que ele possa funcionar conforme necessário.
- **Problemas com base em cálculo.** A maioria dos capítulos contém pelo menos um problema que aplica ideias e métodos de cálculo diferencial e um problema que utiliza cálculo integral.

Representações alternativas. Enfatizamos representações alternativas de informação, incluindo representações mentais, pictóricas, gráficas, tabulares e matemáticas. Muitos problemas são mais fáceis de resolver quando a informação é apresentada de forma alternativa, alcançando os vários métodos diferentes que os alunos utilizam para aprender.

Apêndice de matemática. O anexo de matemática (Anexo B), uma ferramenta valiosa para os alunos, mostra as ferramentas matemáticas em um contexto físico. Este recurso é ideal para alunos que necessitam de uma revisão rápida de tópicos, tais como álgebra, trigonometria e cálculo.

Aspectos úteis

Estilo. Para facilitar a rápida compreensão, escrevemos o livro em um estilo claro, lógico e atrativo. Escolhemos um estilo de escrita que é um pouco informal e descontraído, e os alunos encontrarão um texto atraente e agradável de ler. Os termos novos são cuidadosamente definidos, evitando a utilização de jargões.

Definições e equações importantes. As definições mais importantes estão em negrito ou fora do parágrafo em texto centralizado para adicionar ênfase e facilidade na revisão. De maneira similar, as equações importantes são destacadas com uma tela de fundo para facilitar a localização.

Notas de margem. Comentários e notas que aparecem na margem com um ícone ► podem ser utilizados para localizar afirmações, equações e conceitos importantes no texto.

Nível matemático. Introduzimos cálculo gradualmente, lembrando que os alunos com frequência fazem cursos introdutórios de Cálculo e Física ao mesmo tempo. A maioria das etapas é mostrada quando equações básicas são desenvolvidas e frequentemente se faz referência aos anexos de matemática do final do livro didático. Embora os vetores sejam abordados em detalhe no Capítulo 1, produtos de vetores são apresentados mais adiante no texto, em

que são necessários para aplicações da Física. O produto escalar é apresentado no Capítulo 6, que trata da energia de um sistema; o produto vetorial é apresentado no Capítulo 10, que aborda o momento angular.

Figuras significativas. Tanto nos exemplos trabalhados quanto nos problemas do final de capítulo, os algarismos significativos foram manipulados com cuidado. A maioria dos exemplos numéricos é trabalhada com dois ou três algarismos significativos, dependendo da precisão dos dados fornecidos. Os problemas do final de capítulo regularmente exprimem dados e respostas com três dígitos de precisão. Ao realizar cálculos estimados, normalmente trabalharemos com um único algarismo significativo. (Mais discussão sobre algarismos significativos encontra-se no Capítulo 1.)

Unidades. O sistema internacional de unidades (SI) é utilizado em todo o texto. O sistema comum de unidades nos Estados Unidos só é utilizado em quantidade limitada nos capítulos de mecânica e termodinâmica.

Apêndices e páginas finais. Diversos anexos são fornecidos no fim do livro. A maioria do material anexo representa uma revisão dos conceitos de matemática e técnicas utilizadas no texto, incluindo notação científica, álgebra, geometria, trigonometria, cálculo diferencial e cálculo integral. A referência a esses anexos é feita em todo o texto. A maioria das seções de revisão de matemática nos anexos inclui exemplos trabalhados e exercícios com respostas. Além das revisões de matemática, os anexos contêm tabela de dados físicos, fatores de conversão e unidades SI de quantidades físicas, além de uma tabela periódica dos elementos. Outras informações úteis – dados físicos e constantes fundamentais, uma lista de prefixos padrão, símbolos matemáticos, alfabeto grego e abreviações padrão de unidades de medida – aparecem nas páginas finais.

| Soluções de curso que se ajustarão às suas metas de ensino e às necessidades de aprendizagem dos alunos

Avanços recentes na tecnologia educacional tornaram os sistemas de gestão de tarefas para casa e os sistemas de resposta ferramentas poderosas e acessíveis para melhorar a maneira como os cursos são ministrados. Não importa se você oferece um curso mais tradicional com base em texto, se está interessado em utilizar ou se atualmente utiliza um sistema de gestão de tarefas para casa, como o Enhanced WebAssign. Para mais informações sobre como adquirir o cartão de acesso a esta ferramenta, contate: vendas.cengage@cengage.com. Recurso em inglês.

Sistemas de gestão de tarefas para casa

Enhanced WebAssign para Princípios de Física, tradução da 5ª edição norte-americana (*Principles of physics, 5th edition*). Exclusivo da Cengage Learning, o Enhanced WebAssign oferece um programa on-line extenso de Física para encorajar a prática que é tão fundamental para o domínio do conceito. A pedagogia e exercícios meticulosamente trabalhada nos nossos textos comprovados se tornaram ainda mais eficazes no Enhanced WebAssign. O Enhanced WebAssign inclui o Cengage YouBook, um livro interativo altamente personalizável. O WebAssign inclui:



- Todos os problemas quantitativos de final de capítulo.
- Problemas selecionados aprimorados com *feedbacks* direcionados. Um exemplo de *feedback* direcionado aparece a seguir:
- Tutoriais Master It (indicados no texto por um ícone **M**), para ajudar os alunos a trabalharem no problema um passo de cada vez. Um exemplo de tutorial Master It aparece na próxima página.
- Vídeos de resolução Watch It (indicados no texto por um ícone **W**) que explicam estratégias fundamentais de resolução de problemas para ajudar os alunos a passarem pelas etapas do problema. Além disso, os professores podem escolher incluir sugestões de estratégias de resolução de problemas.
- Verificações de conceitos
- Tutoriais de simulação de Figuras Ativas
- Simulações PhET
- A maioria dos exemplos trabalhados, melhorados com sugestões e *feedback*, para ajudar a reforçar as habilidades de resolução de problemas dos alunos

Master It

A fish swimming in a horizontal plane has velocity $\vec{v}_i = (3.00 \hat{i} + 1.00 \hat{j})$ m/s at a point in the ocean where the position relative to a certain rock is $\vec{r}_i = (6.00 \hat{i} - 3.7 \hat{j})$ m. After the fish swims with constant acceleration for 12.0 s, its velocity is $\vec{v} = (22.0 \hat{i} - 15 \hat{j})$ m/s.

- What are the components of the acceleration?
- What is the direction of the acceleration with respect to unit vector \hat{i} ?
- If the fish maintains constant acceleration, where is it at $t = 21.0$ s?

Part 1 of 7 - Conceptualize

The fish is speeding up and changing direction. We choose to write separate equations about the x and y components of its motion.

Continue

Os tutoriais **Master It** ajudam os estudantes a organizar o que necessitam para resolver um problema com as seções de *conceitualização* e *categorização* antes de trabalhar em cada etapa. (em inglês)

Part 2 of 7 - Categorize

Model the fish as a particle under constant acceleration. We use our old standard equations for constant-acceleration straight line motion, with x and y subscripts to make them apply to parts of the whole motion.

Part 3 of 7 - Analyze(a)

At $t = 0$, the initial velocity $\vec{v} = (3.00 \hat{i} + 1.00 \hat{j})$ m/s and the initial position vector $\vec{r}_i = (6.00 \hat{i} - 3.7 \hat{j})$ m

At the first 'final' point we consider, 12.0 s later, $\vec{v} = (22.0 \hat{i} - 15 \hat{j})$ m/s

$$a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{22.0 \text{ m/s} - 3 \text{ m/s}}{12.0 \text{ s}} = 1.1 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \frac{\Delta v_y}{\Delta t} = \frac{-15 \text{ m/s} - 1.00 \text{ m/s}}{12.0 \text{ s}} = -1.4 \text{ m/s}^2$$

Submit

Skip

Tutoriais **Master It** ajudam os estudantes a trabalhar em cada passo do problema. (em inglês)

Problemas selecionados incluem *feedback* para tratar dos erros mais comuns que os estudantes cometem. Esse *feedback* foi desenvolvido por professores com vários anos de experiência em sala de aula. (em inglês)

A fish swimming in a horizontal plane has velocity $\vec{v}_i = (4 \hat{i} + 1 \hat{j})$ m/s at a point in the ocean where the position relative to a certain rock is $\vec{r}_i = (10 \hat{i} - 4 \hat{j})$ m. After the fish swims with constant acceleration for 20 s, its velocity is $\vec{v} = (20 \hat{i} - 4 \hat{j})$ m/s.

- What are the components of the acceleration?

$$a_x = 3 \text{ m/s}^2$$

You appear to have interchanged the position and velocity values.

$$a_y = 0.5 \text{ m/s}^2$$

Acceleration is determined from the change in velocity in this time interval.

- What is the direction of the acceleration with respect to unit vector \hat{i} ?

$$-350.5^\circ$$

You appear to have correctly calculated the angle using your incorrect values from part (a).

- If the fish maintains constant acceleration, where is it at $t = 20$ s?

$$x = 10 \text{ m}$$

$$y = 10 \text{ m}$$

In what direction is it moving?

$$-350.5^\circ$$

Need Help?

Read It

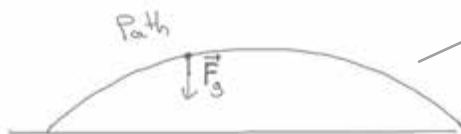
Watch It

Master It

Chat About It

A projectile is launched at some angle to the horizontal with some initial speed v_0 and air resistance is negligible.

- Is the projectile a freely falling body?
- What is its acceleration in the vertical direction?
- What is its acceleration in the horizontal direction?



Os vídeos de resolução **Watch It** ajudam os estudantes a visualizar os passos necessários para resolver um problema. (em inglês)

- Cada Teste Rápido oferece aos alunos uma grande oportunidade de testar sua compreensão conceitual
- O Cengage YouBook

O WebAssign tem um eBook personalizável e interativo, o **Cengage YouBook**, que direciona o livro-texto para se encaixar no seu curso e conectar você com os seus alunos. Você pode remover ou reorganizar capítulos no índice e direcionar leituras designadas que combinem exatamente com o seu programa. Ferramentas poderosas de edição permitem a você fazer mudanças do jeito desejado – ou deixar tudo do jeito original. Você pode destacar trechos principais ou adicionar notas adesivas nas páginas para comentar um conceito na leitura, e depois compartilhar qualquer uma dessas notas individuais e trechos marcados com os seus alunos, ou mantê-los para si. Você também pode editar o conteúdo narrativo no livro de texto adicionando uma caixa de texto ou eliminando texto. Com uma ferramenta de *link* útil, você pode entrar num ícone em qualquer ponto do eBook que lhe permite fazer *links* com as suas próprias notas de leitura, resumos de áudio, vídeo-palestras, ou outros arquivos em um site pessoal ou em qualquer outro lugar da web. Um simples *widget* do YouTube permite que você encontre e inclua vídeos do YouTube de maneira fácil diretamente nas páginas do eBook. Existe um quadro claro de discussão que permite aos alunos e professores que encontrem outras pessoas da sua classe e comecem uma sessão de *chat*. O Cengage YouBook ajuda os alunos a irem além da simples leitura do livro didático. Os alunos também podem destacar o texto, adicionar as suas próprias notas e marcar o livro. As animações são reproduzidas direto na página no ponto de aprendizagem, de modo que não sejam solavancos, mas sim verdadeiros aprimoramentos na leitura. Para mais informações sobre como adquirir o cartão de acesso a esta ferramenta, contate: vendas.cengage@cengage.com. Recurso em inglês.

- Oferecido exclusivamente no WebAssign, o **Quick Prep** para Física é um suprimento de álgebra matemática de trigonometria dentro do contexto de aplicações e princípios físicos. O Quick Prep ajuda os alunos a serem bem-sucedidos usando narrativas ilustradas com exemplos em vídeo. O tutorial para problemas Master It permite que os alunos tenham acesso e sintonizem novamente o seu entendimento do material. Os Problemas Práticos que acompanham cada tutorial permitem que tanto o aluno como o professor testem o entendimento do aluno sobre o material.

O Quick Prep inclui os seguintes recursos:

- 67 tutoriais interativos
- 67 problemas práticos adicionais
- Visão geral de cada tópico que inclui exemplos de vídeo
- Pode ser feito antes do começo do semestre ou durante as primeiras semanas do curso
- Pode ser também atribuído junto de cada capítulo na forma *just in time*

Os tópicos incluem: unidades, notação científica e figuras significativas; o movimento de objetos em uma reta; funções; aproximação e gráficos; probabilidade e erro; vetores, deslocamento e velocidade; esferas; força e projeção de vetores.

Agradecimentos

Antecedente ao nosso trabalho nesta revisão, conduzimos duas pesquisas separadas de professores para fazer uma escala das suas necessidades em livros-texto do mercado sobre Física introdutória com base em cálculo. Ficamos espantados não apenas pelo número de professores que queriam participar da pesquisa, mas também pelos seus comentários perspicazes. O seu *feedback* e sugestões ajudaram a moldar a revisão desta edição; nós os agradecemos. Também agradecemos às seguintes pessoas por suas sugestões e assistência durante a preparação das edições anteriores deste livro:

Edward Adelson, Ohio State University; Anthony Aguirre, University of California em Santa Cruz; Yildirim M. Aktas, University of North Carolina–Charlotte; Alfonso M. Albano, Bryn Mawr College; Royal Albridge, Vanderbilt University; Subash Antani, Edgewood College; Michael Bass, University of Central Florida; Harry Bingham, University of California, Berkeley; Billy E. Bonner, Rice University; Anthony Buffa, California

Polytechnic State University, San Luis Obispo; Richard Cardenas, St. Mary's University; James Carolan, University of British Columbia; Kapila Clara Castoldi, Oakland University; Ralph V. Chamberlin, Arizona State University; Christopher R. Church, Miami University (Ohio); Gary G. DeLeo, Lehigh University; Michael Dennin, University of California, Irvine; Alan J. DeWeerd, Creighton University; Madi Dogariu, University of Central

Florida; Gordon Emslie, University of Alabama em Huntsville; Donald Erbsloe, United States Air Force Academy; William Fairbank, Colorado State University; Marco Fatuzzo, University of Arizona; Philip Fraundorf, University of Missouri-St. Louis; Patrick Gleeson, Delaware State University; Christopher M. Gould, University of Southern California; James D. Gruber, Harrisburg Area Community College; John B. Gruber, San Jose State University; Todd Hann, United States Military Academy; Gail Hanson, Indiana University; Gerald Hart, Moorhead State University; Dieter H. Hartmann, Clemson University; Richard W. Henry, Bucknell University; Athula Herat, Northern Kentucky University; Laurent Hodges, Iowa State University; Michael J. Honess, Villanova University; Huan Z. Huang, University of California em Los Angeles; Joey Huston, Michigan State University; George Igo, University of California em Los Angeles; Herb Jaeger, Miami University; David Judd, Broward Community College; Thomas H. Keil, Worcester Polytechnic Institute; V. Gordon Lind, Utah State University; Edwin Lo; Michael J. Longo, University of Michigan; Rafael Lopez-Mobilia, University of Texas em San Antonio; Roger M. Mabe, United States Naval Academy; David Markowitz, University of Connecticut; Thomas P. Marvin, Southern Oregon University; Bruce Mason, University of Oklahoma em Norman; Martin S. Mason, College of the Desert; Wesley N. Mathews, Jr., Georgetown University; Ian S. McLean, University of California em Los Angeles; John W. McClory, United States Military Academy; L. C. McIn-

tyre, Jr., University of Arizona; Alan S. Meltzer, Rensselaer Polytechnic Institute; Ken Mendelson, Marquette University; Roy Middleton, University of Pennsylvania; Allen Miller, Syracuse University; Clement J. Moses, Utica College of Syracuse University; John W. Norbury, University of Wisconsin–Milwaukee; Anthony Novaco, Lafayette College; Romulo Ochoa, The College of New Jersey; Melvyn Oremland, Pace University; Desmond Penny, Southern Utah University; Steven J. Pollock, University of Colorado–Boulder; Prabha Ramakrishnan, North Carolina State University; Rex D. Ramsier, The University of Akron; Ralf Rapp, Texas A&M University; Rogers Redding, University of North Texas; Charles R. Rhyner, University of Wisconsin–Green Bay; Perry Rice, Miami University; Dennis Rioux, University of Wisconsin – Oshkosh; Richard Rolleigh, Hendrix College; Janet E. Seger, Creighton University; Gregory D. Severn, University of San Diego; Satinder S. Sidhu, Washington College; Antony Simpson, Dalhousie University; Harold Slusher, University of Texas em El Paso; J. Clinton Sprott, University of Wisconsin em Madison; Shirvel Stanislaus, Valparaiso University; Randall Tagg, University of Colorado em Denver; Cecil Thompson, University of Texas em Arlington; Harry W. K. Tom, University of California em Riverside; Chris Vuille, Embry – Riddle Aeronautical University; Fiona Waterhouse, University of California em Berkeley; Robert Watkins, University of Virginia; James Whitmore, Pennsylvania State University

Princípios de Física, quinta edição, teve sua precisão cuidadosamente verificada por Grant Hart (Brigham Young University), James E. Rutledge (University of California at Irvine) e Som Tyagi (Drexel University).

Estamos em débito com os desenvolvedores dos modelos IUPP “A Particles Approach to Introductory Physics” e “Physics in Context”, sob os quais boa parte da abordagem pedagógica deste livro didático foi fundamentada.

Vahe Peroomian escreveu o projeto inicial do novo contexto em Ataques Cardíacos, e estamos muito agradecidos por seu esforço. Ele ajudou revisando os primeiros rascunhos dos problemas.

Agradecemos a John R. Gordon e Vahe Peroomian por ajudar no material, e a Vahe Peroomian por preparar um excelente *Manual de Soluções*. Durante o desenvolvimento deste texto, os autores foram beneficiados por várias discussões úteis com colegas e outros professores de Física, incluindo Robert Bauman, William Beston, Don Chodrow, Jerry Faughn, John R. Gordon, Kevin Giovanetti, Dick Jacobs, Harvey Leff, John Mallinckrodt, Clem Moses, Dorn Peterson, Joseph Rudmin e Gerald Taylor.

Agradecimentos especiais e reconhecimento aos profissionais da Brooks/Cole Publishing Company – em particular, Charles Hartford, Ed Dodd, Brandi Kirksey, Rebecca Berardy Schwartz, Jack Cooney, Cathy Brooks, Cate Barr e Brendan Killion – pelo seu ótimo trabalho durante o desenvolvimento e produção deste livro-texto. Reconhecemos o serviço competente da produção proporcionado por Jill Traut e os funcionários do Macmillan Solutions e o esforço dedicado na pesquisa de fotos de Josh Garvin do Grupo Bill Smith.

Por fim, estamos profundamente em débito com nossas esposas e filhos, por seu amor, apoio e sacrifícios de longo prazo.

Raymond A. Serway
St. Petersburg, Flórida

John W. Jewett, Jr.
Anaheim, Califórnia

Ao aluno

É **apropriado** oferecer algumas palavras de conselho que sejam úteis para você, aluno. Antes de fazê-lo, supomos que tenha lido o Prefácio, que descreve as várias características do livro didático e dos materiais de apoio que o ajudarão durante o curso.

Como estudar

Frequentemente, pergunta-se aos professores, “Como eu deveria estudar Física e me preparar para as provas?” Não há resposta simples para essa pergunta, mas podemos oferecer algumas sugestões com base em nossas experiências de aprendizagem e ensino durante anos.

Antes de tudo, mantenha uma atitude positiva em relação ao assunto, tendo em mente que a Física é a mais fundamental de todas as ciências naturais. Outros cursos de ciência que vêm a seguir usarão os mesmos princípios físicos; assim, é importante que você entenda e seja capaz de aplicar os vários conceitos e teorias discutidos no texto.

Conceitos e princípios

É essencial que você entenda os conceitos e princípios básicos antes de tentar resolver os problemas solicitados. Você poderá alcançar essa meta com a leitura cuidadosa do livro didático antes de assistir à aula sobre o material tratado. Ao ler o texto, anote os pontos que não estão claros para você. Certifique-se, também, de tentar responder às perguntas dos Testes Rápidos ao chegar a eles durante a leitura. Trabalhamos muito para preparar perguntas que possam ajudar você a avaliar sua compreensão do material. Estude cuidadosamente os recursos **E Se?** que aparecem em muitos dos exemplos trabalhados. Eles ajudarão a estender sua compreensão além do simples ato de chegar a um resultado numérico. As Prevenções de Armadilhas também ajudarão a mantê-lo longe dos erros mais comuns na Física. Durante a aula, tome notas atentamente e faça perguntas sobre as ideias que não entender com clareza. Tenha em mente que poucas pessoas são capazes de absorver todo o significado de um material científico após uma única leitura; várias leituras do texto, juntamente com suas anotações, podem ser necessárias. As aulas e o trabalho em laboratório suplementam o livro didático e devem esclarecer parte do material mais difícil. Evite a simples memorização do material. A memorização bem-sucedida de passagens do texto, equações e derivações não indica necessariamente que entendeu o material. A compreensão do material será melhor por meio de uma combinação de hábitos de estudo eficientes, discussões com outros alunos e com professores, e sua capacidade de resolver os problemas apresentados no livro didático. Faça perguntas sempre que acreditar que o esclarecimento de um conceito é necessário.

Horário de estudo

É importante definir um horário regular de estudo, de preferência, diariamente. Leia o programa do curso e cumpra o cronograma estabelecido pelo professor. As aulas farão muito mais sentido se ler o material correspondente à aula antes de assisti-la. Como regra geral, seria bom dedicar duas horas de tempo de estudo para cada hora de aula. Caso tenha algum problema com o curso, peça a ajuda do professor ou de outros alunos que fizeram o curso. Pode também achar necessário buscar mais instrução de alunos experientes. Com muita frequência, os professores oferecem aulas de revisão além dos períodos de aula regulares. Evite a prática de deixar o estudo para um dia ou dois antes da prova. Muito frequentemente, essa prática tem resultados desastrosos. Em vez de gastar uma noite toda de estudo antes de uma prova, revise brevemente os conceitos e equações básicos e tenha uma boa noite de descanso.

Uso de recursos

Faça uso dos vários recursos do livro, discutidos no Prefácio. Por exemplo, as notas de margem são úteis para localizar e descrever equações e conceitos importantes e o negrito indica definições importantes. Muitas tabelas úteis

estão contidas nos anexos, mas a maioria é incorporada ao texto em que elas são mencionadas com mais frequência. O Anexo B é uma revisão conveniente das ferramentas matemáticas utilizadas no texto.

Depois de ler um capítulo, você deve ser capaz de definir quaisquer grandezas novas apresentadas nesse capítulo e discutir os princípios e suposições que foram utilizados para chegar a certas relações-chave. Os resumos do capítulo podem ajudar nisso. Em alguns casos, você pode achar necessário consultar o índice remissivo do livro didático para localizar certos tópicos. Você deve ser capaz de associar a cada quantidade física o símbolo correto utilizado para representar a quantidade e a unidade na qual ela é especificada. Além disso, deve ser capaz de expressar cada equação importante de maneira concisa e precisa.

| Solucionando problemas

R.P. Feynman, prêmio Nobel de Física, uma vez disse: “Você não sabe nada até que tenha praticado”. Concordando com essa afirmação, aconselhamos que você desenvolva as habilidades necessárias para resolver uma vasta gama de problemas. Sua habilidade em resolver problemas será um dos principais testes de seu conhecimento em Física; portanto, você deve tentar resolver tantos problemas quanto possível. É essencial entender os conceitos e princípios básicos antes de tentar resolver os problemas. Uma boa prática consiste em tentar encontrar soluções alternativas para o mesmo problema. Por exemplo, você pode resolver problemas em mecânica usando as leis de Newton, mas muito frequentemente um método alternativo que utilize considerações sobre energia é mais direto. Você não deve se enganar pensando que entende um problema meramente porque acompanhou a resolução dele na aula. Deve ser capaz de resolver o problema e outros problemas similares sozinho.

O enfoque de resolução de problemas deve ser cuidadosamente planejado. Um plano sistemático é especialmente importante quando um problema envolve vários conceitos. Primeiro, leia o problema várias vezes até que esteja confiante de que entendeu o que ele está perguntando. Procure quaisquer palavras-chave que ajudarão a interpretar o problema e talvez permitir que sejam feitas algumas suposições. Sua capacidade de interpretar uma pergunta adequadamente é parte integrante da resolução do problema. Em segundo lugar, você deve adquirir o hábito de anotar a informação dada num problema e aquelas grandezas que precisam ser encontradas; por exemplo, você pode construir uma tabela listando tanto as grandezas dadas quanto as que são procuradas. Este procedimento é utilizado algumas vezes nos exemplos trabalhados do livro. Finalmente, depois que decidiu o método que acredita ser apropriado para um determinado problema, prossiga com sua solução. A Estratégia Geral de Resolução de Problemas orientará nos problemas complexos. Se seguir os passos desse procedimento (Conceitualização, Categorização, Análise, Finalização), você facilmente chegará a uma solução e terá mais proveito de seus esforços. Essa estratégia, localizada no final do Capítulo 1, é utilizada em todos os exemplos trabalhados nos capítulos restantes de maneira que você poderá aprender a aplicá-lo. Estratégias específicas de resolução de problemas para certos tipos de situações estão incluídas no livro e aparecem com um título especial. Essas estratégias específicas seguem a essência da Estratégia Geral de Resolução de Problemas.

Frequentemente, os alunos falham em reconhecer as limitações de certas equações ou de certas leis físicas numa situação particular. É muito importante entender e lembrar as suposições que fundamentam uma teoria ou formalismo em particular. Por exemplo, certas equações da cinemática aplicam-se apenas a uma partícula que se move com aceleração constante. Essas equações não são válidas para descrever o movimento cuja aceleração não é constante, tal como o movimento de um objeto conectado a uma mola ou o movimento de um objeto através de um fluido. Estude cuidadosamente o Modelo de Análise para Resolução de Problemas nos resumos do capítulo para saber como cada modelo pode ser aplicado a uma situação específica. Os modelos de análise fornecem uma estrutura lógica para resolver problemas e ajudam a desenvolver suas habilidades de pensar para que fiquem mais parecidas com as de um físico. Utilize a abordagem de modelo de análise para economizar tempo buscando a equação correta e resolva o problema com maior rapidez e eficiência.

| Experimentos

A Física é uma ciência baseada em observações experimentais. Portanto, recomendamos que tente complementar o texto realizando vários tipos de experiências práticas, seja em casa ou no laboratório. Essas experiências podem ser utilizadas para testar as ideias e modelos discutidos em aula ou no livro didático. Por exemplo, o brinquedo comum “slinky” é excelente para estudar propagação de ondas, uma bola balançando no final de uma longa corda pode ser utilizada para investigar o movimento de pêndulo, várias massas presas no final de uma mola vertical ou elástico podem ser utilizadas para determinar sua natureza elástica, um velho par de óculos de sol polarizado e algumas lentes descartadas e uma lente de aumento são componentes de várias experiências de óptica, e uma medida apro-

ximada da aceleração em queda livre pode ser determinada simplesmente pela medição com um cronômetro do intervalo de tempo necessário para uma bola cair de uma altura conhecida. A lista dessas experiências é infinita. Quando os modelos físicos não estão disponíveis, seja imaginativo e tente desenvolver seus próprios modelos.

| Novos meios

Se disponível, incentivamos muito a utilização do produto Enhanced WebAssign. É bem mais fácil entender Física se você a vê em ação e os materiais disponíveis no Enhanced WebAssign permitirão que você se torne parte dessa ação. Para mais informações sobre como adquirir o cartão de acesso a esta ferramenta, contate: vendas.cengage@cengage.com. Recurso em inglês.

Esperamos sinceramente que você considere a Física uma experiência excitante e agradável e que se beneficie dessa experiência independentemente da profissão escolhida. Bem-vindo ao excitante mundo da Física!

O cientista não estuda a natureza porque é útil; ele a estuda porque se realiza fazendo isso e tem prazer porque ela é bela. Se a natureza não fosse bela, não seria suficientemente conhecida, e se não fosse suficientemente conhecida, a vida não valeria a pena.

— **Henri Poincaré**



As ferramentas de aprendizagem utilizadas até alguns anos atrás já não atraem os alunos de hoje, que dominam novas tecnologias, mas dispõem de pouco tempo para o estudo. Na realidade, muitos buscam uma nova abordagem. A **Trilha** está abrindo caminho para uma nova estratégia de aprendizagem e tudo teve início com alguns professores e alunos. Determinados a nos conectar verdadeiramente com os alunos, conduzimos pesquisas e entrevistas. Conversamos com eles para descobrir como aprendem, quando e onde estudam, e por quê. Conversamos, em seguida, com professores para obter suas opiniões. A resposta a essa solução inovadora de ensino e aprendizagem tem sido excelente.

Trilha é uma solução de ensino e aprendizagem diferente de todas as demais!

Os alunos pediram, nós atendemos!

- Manual de soluções, glossário e mais!

Plataforma de acesso e conteúdo em português

Acesse: <http://cursosonline.cengage.com.br>

Um convite à física



Stephen Inglis/Shutterstock

Stonehenge, no sul da Inglaterra, foi construído há milhares de anos. Várias teorias têm sido propostas acerca de sua função, como cemitério, local de cura e espaço de culto aos ancestrais. Uma das teorias mais intrigantes sugere que Stonehenge tenha sido um observatório, permitindo previsões sobre eventos celestiais, como eclipses, solstícios e equinócios.

A física, a mais fundamental das ciências naturais, preocupa-se com os princípios básicos do Universo. É a fundação sobre a qual a engenharia, a tecnologia e outras ciências – astronomia, biologia, química e geologia – se baseiam. A beleza da física repousa sobre a simplicidade de seus princípios fundamentais e na maneira como um pequeno número de conceitos básicos, equações e proposições pode alterar e expandir nossa visão do mundo.

A *física clássica*, desenvolvida antes de 1900, inclui teorias, conceitos, leis e experimentos em mecânica clássica, termodinâmica, eletromagnetismo e óptica. Por exemplo, Galileu Galilei (1564-1642) fez contribuições significativas à mecânica clássica por meio do seu trabalho das leis de movimento com aceleração constante. Na mesma época, Johannes Kepler (1571-1630) usou observações astronômicas para desenvolver leis empíricas (baseadas na experiência) em relação ao movimento de corpos planetários.

As contribuições mais importantes para a mecânica clássica, no entanto, foram proporcionadas por Isaac

Newton (1642-1727), que desenvolveu a mecânica clássica como uma teoria sistemática e foi um dos criadores do cálculo como ferramenta matemática. Mesmo que os principais desenvolvimentos da física clássica tenham continuado no século XVIII, a termodinâmica e o eletromagnetismo não foram desenvolvidos até a última parte do século XIX, principalmente porque, antes dessa época, os equipamentos para experiências controladas eram muito primitivos ou indisponíveis. Embora vários fenômenos elétricos e magnéticos tenham sido estudados anteriormente, o trabalho de James Clerk Maxwell (1831-1879) proporcionou uma teoria unificada do eletromagnetismo. Neste livro, trataremos das diversas disciplinas da física clássica em seções separadas; veremos, assim, que a mecânica e o eletromagnetismo são básicos para todas as áreas da física.

Uma revolução importante na física, normalmente conhecida como *física moderna*, começou no final do século XIX e se desenvolveu principalmente porque



© 2011 CERN

O detector Solenoide de Múon Compacto (CMS) é parte do Grande Colisor de Hádrons operado pelo Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (Cern). O sistema é desenhado para detectar e medir partículas criadas em colisões de prótons de alta energia. Apesar da palavra *compacto* no nome, o detector tem 15 metros de diâmetro. Para ter uma ideia de escala, veja o trabalhador no canto inferior esquerdo da foto e os outros trabalhadores com capacetes no lado mais distante do detector.

muitos fenômenos físicos não podiam ser explicados pela física clássica. Os dois desenvolvimentos mais importantes na era moderna foram a teoria da relatividade e a mecânica quântica. A primeira, de Albert Einstein, revolucionou completamente os conceitos tradicionais sobre espaço, tempo e energia. A teoria da relatividade descreve corretamente o movimento de objetos à velocidade comparável à da luz, além de mostrar que a velocidade da luz é o limite superior da velocidade de um objeto e que massa e energia são relacionadas. A mecânica quântica foi formulada por diversos cientistas distintos para fornecer descrições de fenômenos físicos no nível atômico.

Cientistas trabalham continuamente na melhoria da nossa compreensão das leis fundamentais, e novas descobertas são feitas a cada dia. Em várias áreas de pesquisa, há uma grande sobreposição entre física, química e biologia. Evidência disso observa-se no nome de algumas subespecialidades da ciência: biofísica, bioquímica, fisioquímica, biotecnologia e assim por diante. Inúmeros avanços técnicos nos últimos tempos são resultado do esforço de muitos cientistas, engenheiros e técnicos. Alguns dos desenvolvimentos mais notáveis na última metade do século XX foram (1) missões espaciais para

a Lua e outros planetas, (2) computadores de microcircuito e alta velocidade, (3) técnicas de imagem sofisticadas usadas em pesquisas científicas e medicina e (4) várias realizações notáveis em engenharia genética. Os primeiros anos do século XXI têm mostrado desenvolvimentos adicionais. Materiais como nanotubos de carbono agora experimentam uma variedade de novas aplicações. O Prêmio Nobel de Física de 2010 foi concedido a experimentos realizados em grafenos, um material de duas dimensões formado de átomos de carbono. Aplicações potenciais incluem incorporação de uma variedade de componentes elétricos e biodispositivos, como aqueles usados em sequenciamento de DNA. Os impactos de tais desenvolvimentos e descobertas em nossa sociedade têm sido realmente grandes, e é muito provável que as descobertas e desenvolvimentos futuros sejam excitantes, desafiadores e de grande benefício para a humanidade.

Para investigar o impacto da física nos desenvolvimentos de nossa sociedade, usaremos uma abordagem integrada para o estudo do conteúdo desta coleção, dividida em nove Contextos, que relatam as questões sociais da física, os fenômenos naturais ou as aplicações técnicas e médicas, como indicado a seguir:



Físicos têm sido amplamente utilizados hoje no campo da biomedicina. Vemos aqui o Sistema Cirúrgico Da Vinci, um dispositivo robótico usado em procedimentos como prostatectomia, hysterectomias, reparos da válvula mitral e anastomose da artéria coronária. O cirurgião fica no console à esquerda e vê uma imagem estereoscópica do local da cirurgia. Os movimentos das mãos são traduzidos por um computador em movimentos dos braços robóticos, os quais estão acima da mesa de cirurgia, à direita.

Capítulos	Contexto
2-7	Veículos movidos a combustível alternativo
8-11	Missão para Marte
12-14	Terremotos
15	Ataques cardíacos
16-18	Aquecimento global
19-21	Raios
22-23	Magnetismo na medicina
24-27	<i>Lasers</i>
28-31	A conexão cósmica

Os Contextos oferecem uma linha de história para cada seção do livro, que ajudará a relevar e motivar o estudo do material.

Cada Contexto começa com uma discussão do tópico e termina com uma *pergunta central*, que forma o foco

para o estudo da física nele. Na seção final de cada capítulo, Conteúdo em Contexto, o material visto é explorado com base na pergunta central. No final de cada “Contexto”, uma “Conclusão do Contexto” reúne todos os princípios necessários para responder da forma mais completa possível à pergunta central.

No Capítulo 1, investigamos alguns dos fundamentos matemáticos e estratégias de resolução de problemas que utilizaremos no estudo da física. O primeiro Contexto, *Veículos movidos a combustível alternativo*, é introduzido antes do Capítulo 2; nesse contexto, os princípios de mecânica clássica são aplicados ao problema de projeto, desenvolvimento, produção e venda de um veículo que ajudará a reduzir a dependência de petróleo importado estrangeiro e causará menos emissão de produtos prejudiciais na atmosfera quando comparado com motores comuns a gasolina.

Introdução e vetores

Sumário

- 1.1 Padrões de comprimento, massa e tempo
- 1.2 Análise dimensional
- 1.3 Conversão de unidades
- 1.4 Cálculos de ordem de grandeza
- 1.5 Algarismos significativos
- 1.6 Sistemas de coordenadas
- 1.7 Vetores e escalares
- 1.8 Algumas propriedades dos vetores
- 1.9 Componentes de um vetor e vetores unitários
- 1.10 Modelagem, representações alternativas e estratégia de solução de problemas

A meta da física é proporcionar um entendimento quantitativo de certos fenômenos básicos que ocorrem em nosso Universo. A física é uma ciência baseada em observações experimentais e análises matemáticas.

Os principais objetivos por trás desses experimentos e análises são desenvolver teorias que expliquem o fenômeno estudado e relacioná-las a outras estabelecidas. Felizmente, é possível explicar o comportamento de diversos sistemas físicos usando relativamente poucas leis fundamentais. Os procedimentos analíticos requerem a expressão dessas leis na linguagem da matemática, a ferramenta que faz uma ponte entre a teoria e a experiência. Neste capítulo, abordaremos alguns conceitos e técnicas matemáticas que serão utilizados ao longo do livro. Além disso, destacamos uma estratégia eficaz de solução de problemas que deve ser adotada e utilizada em nossas atividades para solução dos problemas dados.

1.1 | Padrões de comprimento, massa e tempo

Para descrever os fenômenos naturais, devemos fazer medições associadas às quantidades físicas, como o comprimento de um objeto. As leis da física podem ser expressas como relações matemáticas entre grandezas físicas que serão apre-



Raymond A. Serway

Um poste de sinalização em Saint Petersburg, na Flórida, mostra a distância e a direção para diversas cidades. Quantidades que são definidas tanto por um módulo quanto por uma direção são chamadas de *quantidades vetoriais*.

ENHANCED

WebAssign

O conteúdo interativo deste e de outros capítulos é designado tarefa *on-line* no Enhanced WebAssign.

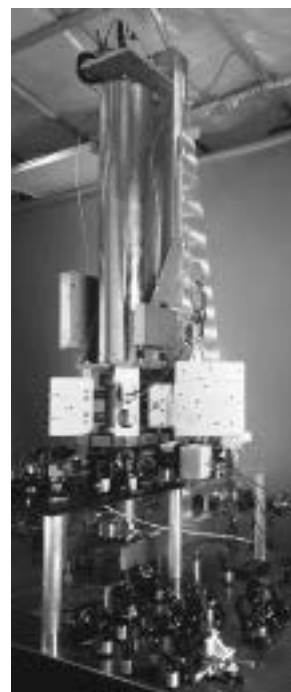
sentadas e discutidas no livro. Em mecânica, as três grandezas fundamentais são comprimento, massa e tempo. Todas as outras grandezas podem ser expressas em termos dessas três.

Se medirmos certa grandeza e desejarmos descrevê-la a alguém, uma unidade para a grandeza deverá ser especificada e definida. Por exemplo, não faria sentido um visitante de outro planeta nos falar sobre um comprimento de 8,0 “*glitches*” se não sabemos o significado da unidade *glitch*. Entretanto, se alguém familiarizado com nosso sistema de medição relatar que uma parede tem 2 metros de altura e nossa unidade de comprimento é definida como 1 metro, sabemos que a altura da parede é duas vezes nossa unidade fundamental de comprimento. Um comitê internacional criou um sistema de definições e padrões para descrever as grandezas físicas fundamentais, chamado de Sistema Internacional (SI) de unidades. De acordo com o SI, as unidades fundamentais de comprimento, massa e tempo são: metro, quilograma e segundo, respectivamente.

Comprimento

Em 1120 d.C., o rei Henrique I da Inglaterra decretou que o padrão de comprimento em seu país seria nomeado jarda, que seria precisamente igual à distância da ponta do seu nariz ao final seu braço estendido. Similarmente, o padrão original para o pé adotado pelos franceses era o comprimento do pé real do rei Luís XIV. O padrão prevaleceu até 1799, quando o padrão legal de comprimento na França se tornou o **metro (m)**, definido como um décimo de milionésimo da distância do Equador ao Polo Norte.

Muitos outros sistemas além desses foram desenvolvidos, porém, por causa das vantagens do sistema francês, ele prevaleceu na maioria dos países e nos círculos científicos do mundo todo. Até 1960, o comprimento do metro foi definido como a distância entre duas linhas em uma barra específica de liga de platina-irídio armazenada sob condições controladas. Esse padrão foi abandonado por diversas razões, sendo a principal delas a precisão limitada com a qual se pode determinar a separação entre as linhas, o que não atende às exigências atuais da ciência e da tecnologia. A definição do metro foi modificada para ser igual a 1 650 763,73 vezes o comprimento de onda da luz laranja-avermelhada emitida por uma lâmpada de criptônio 86. Em outubro de 1983, o metro foi redefinido como **a distância percorrida pela luz no vácuo durante o tempo de 1/299 792 458 segundos**. Esse valor surgiu do estabelecimento da velocidade da luz no vácuo como exatamente 299 792 458 metros por segundo. Usaremos a notação científica padrão para números com mais de três dígitos, nos quais grupos de três dígitos são separados por espaços em vez de vírgulas. Portanto, 1 650 763,73 e 299 792 458 neste parágrafo são os mesmos que as notações popularmente usadas de 1.650.763,73 e 299.792.458. Da mesma forma, $\pi = 3,14159265$ é escrito como 3,141 592 65.



© 2005 Geoffrey Wheeler Photography

Figura 1.1 Relógio atômico com fonte de césio. Ele não ganhará nem perderá um segundo em 20 milhões de anos.

► Definição de metro

Massa

A massa representa uma medida de resistência de um objeto a alterações em seu movimento. No SI, a unidade de massa, o **quilograma**, é definida como **a massa de um cilindro específico de liga de platina-irídio mantido na Agência Internacional de Pesos e Medidas, em Sèvres, na França**. Neste ponto, devemos ter um pouco de cautela. Muitos alunos iniciantes de física tendem a confundir as quantidades físicas chamadas *peso* e *massa*. Por ora, não devemos discutir a distinção entre elas, o que será feito com mais clareza nos capítulos seguintes. Agora, devemos somente observar que elas são grandezas bastante distintas.

► Definição de quilograma

Tempo

Antes de 1967, o padrão de tempo foi definido em termos da duração média de um *dia solar médio*. (O intervalo de tempo entre sucessivas aparições do Sol no ponto mais alto que ele atinge no céu a cada dia.) A unidade básica do tempo, o **segundo**, foi definida como $(1/60)(1/60)(1/24) = 1/86\,400$ de um dia solar médio. Em 1967, foi redefinido para aproveitar a grande precisão obtida por

► Definição de segundo

TABELA 1.1 | Valores aproximados de alguns comprimentos medidos

	Comprimento (m)
Distância da Terra ao mais remoto quasar conhecido	$1,4 \times 10^{26}$
Distância da Terra às galáxias normais mais remotas	9×10^{25}
Distância da Terra à grande galáxia mais próxima (M 31, galáxia de Andrômeda)	2×10^{22}
Distância do Sol à estrela mais próxima (<i>Proxima Centauri</i>)	4×10^{16}
Um ano-luz	$9,46 \times 10^{15}$
Raio médio da órbita da Terra	$1,50 \times 10^{11}$
Distância média da Terra à Lua	$3,84 \times 10^8$
Distância do Equador ao Polo Norte	$1,00 \times 10^7$
Raio médio da Terra	$6,37 \times 10^6$
Altitude típica (acima da superfície) de um satélite na órbita da Terra	2×10^5
Comprimento de um campo de futebol	$9,1 \times 10^1$
Comprimento de um livro	$2,8 \times 10^{-1}$
Comprimento de uma mosca doméstica	5×10^{-3}
Tamanho das menores partículas de pó visíveis	$\sim 10^{-4}$
Tamanho das células da maioria dos organismos vivos	$\sim 10^{-5}$
Diâmetro de um átomo de hidrogênio	$\sim 10^{-10}$
Diâmetro de um núcleo de urânio	$\sim 10^{-14}$
Diâmetro de um próton	$\sim 10^{-15}$

TABELA 1.2 | Massas de diversos objetos (valores aproximados)

	Massa (kg)
Universo visível	$\sim 10^{52}$
Via Láctea	$\sim 10^{42}$
Sol	$1,99 \times 10^{30}$
Terra	$5,98 \times 10^{24}$
Lua	$7,36 \times 10^{22}$
Tubarão	$\sim 10^3$
Humano	$\sim 10^2$
Sapo	$\sim 10^{-1}$
Mosquito	$\sim 10^{-5}$
Bactéria	$\sim 10^{-15}$
Átomo de hidrogênio	$1,67 \times 10^{-27}$
Elétron	$9,11 \times 10^{-31}$

um dispositivo conhecido como relógio atômico (Fig. 1.1), que usa a frequência característica do átomo de césio-133 como o “relógio de referência”. Um segundo é agora definido como **9 192 631 770 vezes o período de vibração da radiação do átomo de césio**. Hoje, é possível comprar relógios que recebem sinais de rádio de um relógio atômico no Colorado, utilizados para reinício contínuo a fim de permanecerem na hora correta.

Valores aproximados para comprimento, massa e tempo

Valores aproximados de diversos comprimentos, massas e intervalos de tempo são apresentados nas Tabelas 1.1, 1.2 e 1.3, respectivamente. Observe a grande variedade de valores para essas quantidades.¹ Você deve estudar as tabelas e começar a intuir para o que quer dizer, por exemplo, uma massa de 100 quilogramas ou intervalo de tempo $3,2 \times 10^7$ segundos.

Os sistemas de unidades mais usados na ciência, no comércio, na fabricação e na vida cotidiana são (1) o *SI*, em que as unidades de comprimento, massa e tempo são metro (m), quilograma (kg) e segundo (s), respectivamente; e (2) o *sistema usual dos EUA*, em que as unidades de comprimento, massa e tempo são pés (ft), slug² e segundo, respectivamente. Na maior parte deste livro, utilizaremos unidades do SI porque são quase universalmente aceitas na ciência e indústria, mas faremos uso limitado das unidades usuais dos EUA.

Prevenção de Armadilhas | 1.1

Valores sensatos

Intuir sobre valores normais de quantidades ao resolver problemas é importante porque é preciso pensar no resultado final e determinar se ele parece sensato. Por exemplo, se estiver calculando a massa de uma mosca e chegar a um valor de 100 kg, essa resposta é *insensata*, e há um erro em algum lugar.

Alguns dos prefixos mais usados para potências de dez e suas abreviações estão relacionados na Tabela 1.4. Por exemplo, 10^{-3} m é equivalente a 1 milímetro (mm), e 10^3 m corresponde a um quilômetro (km). De maneira semelhante, 1 kg é 10^3 gramas (g), e um megavolt (MV), 10^6 volts (V).

As variáveis comprimento, tempo e massa são exemplos de *grandezas fundamentais*. Uma lista bem maior de variáveis tem *grandezas derivadas*, que podem ser expressas como uma combinação matemática de grandezas fundamentais.

¹ Se você não estiver familiarizado com o uso de potências de dez (notação científica), estude o Apêndice B.1.

² N.R.T.: Slug é a unidade de medida em unidades inglesas. É a massa que é acelerada por Lbf/s^2 quando a força de uma Libra (lbf) é exercida nela:

$1 \text{ slug} = 1 \frac{\text{lbf} \cdot \text{s}^2}{\text{ft}}$.

TABELA 1.3 | Valores aproximados de alguns intervalos de tempo

	Intervalo de Tempo (s)
Idade do Universo	4×10^{17}
Idade da Terra	$1,3 \times 10^{17}$
Intervalo de tempo desde a queda do Império Romano	5×10^{12}
Idade média de um estudante universitário	$6,3 \times 10^8$
Um ano	$3,2 \times 10^7$
Um dia (intervalo de tempo para uma revolução da Terra sobre seu eixo)	$8,6 \times 10^4$
Um período de aula	$3,0 \times 10^3$
Intervalo de tempo entre batimentos cardíacos normais	8×10^{-1}
Período de ondas sonoras audíveis	$\sim 10^{-3}$
Período de ondas de rádio normais	$\sim 10^{-6}$
Período de vibração de um átomo em um sólido	$\sim 10^{-13}$
Período de ondas luminosas visíveis	$\sim 10^{-15}$
Duração de uma colisão nuclear	$\sim 10^{-22}$
Intervalo de tempo para a luz cruzar um próton	$\sim 10^{-24}$

TABELA 1.4 | Alguns prefixos para potências de dez

Potência	Prefixo	Abreviação
10^{-24}	iocto	y
10^{-21}	zepto	z
10^{-18}	ato	a
10^{-15}	femto	f
10^{-12}	pico	p
10^{-9}	nano	n
10^{-6}	micro	μ
10^{-3}	mili	m
10^{-2}	centi	c
10^{-1}	deci	d
10^3	quilo	k
10^6	mega	M
10^9	giga	G
10^{12}	tera	T
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E
10^{21}	zeta	Z
10^{24}	iota	Y

Exemplos comuns são *área*, que é um produto de dois comprimentos, e *velocidade*, que é uma relação entre um comprimento e um intervalo de tempo.

Outro exemplo de grandeza derivada é a **densidade**. A densidade ρ (letra grega rho; ► Definição de densidade uma tabela de letras no alfabeto grego encontra-se na parte final do livro) de qualquer substância é definida como sua *massa pela unidade de volume*:

$$\rho \equiv \frac{m}{V} \quad 1.1 \blacktriangleleft$$

que é a relação da massa para um produto de três comprimentos. O alumínio, por exemplo, tem densidade $2,70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, e o chumbo, $11,3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Uma diferença extrema de densidade pode ser imaginada quando seguramos um cubo de 10 centímetros de isopor em uma mão e outro de 10 cm de chumbo na outra.

1.2 | Análise dimensional

Em física, a palavra *dimensão* denota a natureza física de uma grandeza. A distância entre dois pontos, por exemplo, pode ser medida em pés, metros ou *furlongs*,³ que são todas maneiras diferentes de expressar a dimensão de comprimento.

Os símbolos usados neste livro para especificar as dimensões⁴ de comprimento, massa e tempo são L, M e T, respectivamente. Utilizaremos, com frequência, colchetes [] para denotar as dimensões de uma grandeza física. Por exemplo, nesta notação as dimensões de velocidade v são escritas $[v] = L/T$, e as dimensões de área A são $[A] = L^2$. As dimensões de área, volume, velocidade e aceleração são relacionadas na Tabela 1.5, junto com suas unidades nos dois sistemas comuns. As dimensões de outras grandezas, tais como força e energia, serão descritas conforme forem apresentadas no texto.

Prevenção de Armadilhas | 1.2

Símbolos para grandezas

Algumas quantidades têm um pequeno número de símbolos que as representam. Por exemplo, o símbolo para tempo é quase sempre t . Outras grandezas podem ter vários símbolos, dependendo da utilização. O comprimento pode ser descrito com símbolos tais como x , y e z (para posição); r (para raio); a , b e c (para os catetos de um triângulo retângulo); ℓ (para o comprimento de um objeto); d (para distância); h (para altura); e assim por diante.

³ N.R.T.: *Furlong*: unidade de comprimento equivalente a 201 metros ou 1/8 de milha, usada em corrida de cavalos.

⁴ As *dimensões* de uma quantidade serão simbolizadas por uma letra maiúscula, não itálica, como no caso de comprimento, L. O *símbolo* para a própria variável será uma letra em itálico, como L para o comprimento de um objeto ou t para tempo.

TABELA 1.5 | Dimensões e unidades de quatro grandezas derivadas

Quantidade	Área (A)	Volume (V)	Velocidade (v)	Aceleração (a)
Dimensões	L^2	L^3	L/T	L/T^2
Unidades SI	m^2	m^3	m/s	m/s^2
Unidades usuais nos EUA	pe^2	pe^3	pe/s	pe/s^2

Em muitas situações, será necessário derivar ou verificar uma equação específica. Caso você tenha esquecido os detalhes da derivação, um útil e poderoso procedimento chamado **análise dimensional** pode ser usado como uma verificação de consistência, para auxiliar na derivação ou verificar sua expressão final. As análises dimensionais fazem uso do fato de que as dimensões podem ser tratadas como grandezas algébricas. Por exemplo, grandezas poderão ser adicionadas ou subtraídas somente se tiverem as mesmas dimensões. Além disso, os termos em ambos os lados de uma equação devem ter as mesmas dimensões. Ao seguir essas regras simples, você pode usar a análise dimensional para ajudar a determinar se uma expressão tem a forma correta, porque a relação só poderá estar correta se as dimensões dos dois lados da equação forem as mesmas.

Para ilustrar esse procedimento, suponha que você queira derivar uma equação para a posição x de um carro em um momento t se o carro parte do repouso a $t = 0$ e move-se com aceleração constante a . No Capítulo 2, descobriremos que a expressão correta para esse caso especial é $x = \frac{1}{2}at^2$. Verifiquemos a validade dessa expressão sob uma abordagem da análise dimensional.

A grandeza x do lado esquerdo tem a dimensão do comprimento. Para a equação estar dimensionalmente correta, a grandeza do lado direito também deve ter essa dimensão. Podemos efetuar uma verificação dimensional substituindo as dimensões por aceleração, L/T^2 (Tabela 1.5), e tempo, T , na equação $x = \frac{1}{2}at^2$. Isto é, a forma dimensional da equação $x = \frac{1}{2}at^2$ pode ser escrita como

$$[x] = \frac{L}{T^2} T^2 = L$$

As dimensões de tempo se cancelam, como mostrado, deixando a dimensão de comprimento, que é a correta para a posição x . Observe que o número $\frac{1}{2}$ na equação não possui unidades, logo não entra na análise dimensional.

TESTE RÁPIDO 1.1 Verdadeiro ou falso: A análise dimensional é capaz de fornecer o valor numérico de constantes de proporcionalidade que podem aparecer em uma expressão algébrica.

Exemplo 1.1 | Análise de uma equação

Mostre que a expressão $v = at$ – em que v representa velocidade; a , aceleração; e t , um instante no tempo – está dimensionalmente correta.

SOLUÇÃO

Identifique as dimensões de v na Tabela 1.5:

$$[v] = \frac{L}{T}$$

Identifique as dimensões de a na Tabela 1.5 e multiplique pelas dimensões de t :

$$[at] = \frac{L}{T^2} T = \frac{L}{T}$$

Portanto, $v = at$ está dimensionalmente correta, porque temos as mesmas dimensões em ambos os lados. (Se a expressão fosse fornecida como $v = at^2$, estaria dimensionalmente *incorreta*. Experimente para ver!)

1.3 | Conversão de unidades

Às vezes, é necessário converter unidades de um sistema em outro ou dentro de um sistema, como quilômetros em metros. As igualdades entre o SI e as unidades usuais de comprimento nos EUA são as seguintes:

$$\begin{aligned} 1 \text{ milha (mi)} &= 1\,609 \text{ m} = 1,609 \text{ km} \\ 1 \text{ m} &= 39,37 \text{ pol.} = 3,281 \text{ pés} \\ 1 \text{ pé} &= 0,3048 \text{ m} = 30,48 \text{ cm} \\ 1 \text{ polegada (pol.)} &= 0,0254 \text{ m} = 2,54 \text{ cm} \end{aligned}$$

Uma lista mais completa de igualdades pode ser encontrada no Apêndice A.

As unidades podem ser tratadas como grandezas algébricas que podem se cancelar mutuamente. Para realizar uma conversão, uma grandeza pode ser multiplicada por um **fator de conversão**, que é uma fração igual a 1, com numerador e denominador tendo unidades diferentes, para dar as unidades desejadas no resultado final. Por exemplo, suponha que desejemos converter 15,0 pol. em centímetros. Como 1 pol. = 2,54 cm, multiplicamos por um fator de conversão que é a relação apropriada dessas grandezas iguais e encontramos

$$15,0 \text{ pol.} = (15,0 \cancel{\text{ pol.}}) \left(\frac{2,54 \text{ cm}}{1 \cancel{\text{ pol.}}} \right) = 38,1 \text{ cm}$$

em que a relação entre parênteses é igual a 1. Observe que expressamos 1 como 2,54 cm/1 pol. (em vez de 1 pol./2,54 cm), de maneira que a polegada no denominador cancela a unidade na grandeza original. A unidade remanescente é o centímetro, que é nosso resultado desejado.

TESTE RÁPIDO 1.2 A distância entre duas cidades é 100 mi. Quantos quilômetros há entre as duas cidades? (a) menos de 100 (b) mais de 100 (c) igual a 100.

Exemplo 1.2 | Ele está correndo?

Em uma rodovia interestadual na região rural de Wyoming, um carro viaja a 38,0 m/s. O motorista está excedendo o limite de velocidade de 75,0 mi/h?

SOLUÇÃO

Converta a velocidade em metros em milhas:

$$(38,0 \cancel{\text{ m}}/\text{s}) \left(\frac{1 \text{ mi}}{1\,609 \cancel{\text{ m}}} \right) = 2,36 \times 10^{-2} \text{ mi/s}$$

Converta segundos em horas:

$$(2,36 \times 10^{-2} \text{ mi}/\cancel{\text{s}}) \left(\frac{60 \cancel{\text{s}}}{1 \cancel{\text{min}}} \right) \left(\frac{60 \cancel{\text{min}}}{1 \text{ h}} \right) = 85,0 \text{ mi/h}$$

O motorista está realmente ultrapassando o limite de velocidade e, por isso, deve ir mais devagar.

E se? E se o motorista não fosse dos Estados Unidos e só estivesse familiarizado com velocidades medidas em quilômetros por hora? Qual seria a velocidade do carro em km/h?

Resposta Podemos converter a resposta nas unidades apropriadas:

$$(85,0 \cancel{\text{ mi}}/\text{h}) \left(\frac{1,609 \text{ km}}{1 \cancel{\text{ mi}}} \right) = 137 \text{ km/h}$$

A Figura 1.2 mostra o velocímetro de um automóvel exibindo a velocidade tanto em mi/h como em km/h. Você pode verificar a conversão que acabamos de realizar utilizando a fotografia?

Prevenção de Armadilhas | 1.3

Sempre inclua unidades

Ao efetuar cálculos, torne um hábito incluir as unidades para cada grandeza e as leve por todo o cálculo. Evite a tentação de largá-las durante as etapas de cálculo e, então, aplique a unidade esperada ao número que resulta para uma resposta. Quando se incluem as unidades em cada passo, será possível detectar erros se as unidades para a resposta estiverem incorretas.



Figura 1.2 (Exemplo 1.2) O velocímetro de um veículo que mostra velocidades em milhas por hora e em quilômetros por hora.

1.4 | Cálculos de ordem de grandeza

Suponha que alguém lhe pergunte o número de bits de dados em um CD de música comum. Como resposta, em geral não se espera que você forneça o número exato, mas uma estimativa, que pode ser expressa em notação científica, e que pode ser ainda mais aproximada se expressa como ordem de *grandeza*, que é uma potência de dez determinada da seguinte maneira:

1. Expresse o número em notação científica, com o multiplicador da potência de dez entre 1 e 10 e uma unidade.
2. Se o multiplicador for menor que 3,162 (a raiz quadrada de dez), a ordem de grandeza do número será a potência de dez na notação científica. Se o multiplicador for maior que 3,162, a ordem de grandeza será uma vez maior que a potência de dez na notação científica.

Usamos o símbolo \sim para “está na ordem de”. Utilize esse procedimento para verificar as ordens de grandeza para os seguintes comprimentos:

$$0,0086 \text{ m} \sim 10^{-2} \text{ m} \quad 0,0021 \text{ m} \sim 10^{-3} \text{ m} \quad 720 \text{ m} \sim 10^3 \text{ m}$$

Geralmente, quando uma estimativa de ordem de grandeza é feita, os resultados são confiáveis dentro de aproximadamente um fator de dez. Se uma quantidade aumenta o valor em três ordens de grandeza, seu valor aumenta em um fator de cerca de $10^3 = 1\,000$.

Exemplo 1.3 | O número de átomos em um sólido

Estime o número de átomos em 1 cm^3 de um sólido.

SOLUÇÃO

Na Tabela 1.1, observamos que o diâmetro d de um átomo é cerca de 10^{-10} m . Suponhamos que os átomos no sólido sejam esferas desse diâmetro. Então, o volume de cada esfera é cerca de 10^{-30} m^3 (mais precisamente, volume $= 4\pi r^3/3 = \pi d^3/6$, em que $r = d/2$). Portanto, como $1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$, o número de átomos no sólido está na ordem de $10^{-6}/10^{-30} = 10^{24}$ átomos.

Um cálculo mais preciso exigiria conhecimento adicional que podemos encontrar nas tabelas. Nossa estimativa, no entanto, concorda com o cálculo mais preciso em um fator de 10.

Exemplo 1.4 | Inspirações durante a vida

Estime o número de inspirações durante um período médio da vida humana.

SOLUÇÃO

Começamos estimando que a duração da vida humana normal é de aproximadamente 70 anos. Pense no número médio de inspirações de uma pessoa em 1 min. Esse número variará se a pessoa estiver fazendo exercício, dormindo, zangada, serena e assim por diante. Na ordem de módulo mais próxima, escolheremos 10 inspirações por minuto como nossa estimativa. (Certamente mais próxima do valor médio verdadeiro do que uma estimativa de 1 inspiração por minuto ou 100 inspirações por minuto.)

Encontre o número aproximado de minutos em um ano:

$$1 \text{ ano} \left(\frac{400 \text{ dias}}{1 \text{ ano}} \right) \left(\frac{25 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \right) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) = 6 \times 10^5 \text{ min}$$

Encontre o número aproximado de minutos em 70 anos de uma vida:

$$\begin{aligned} \text{número de minutos} &= (70 \text{ anos}) (6 \times 10^5 \text{ min/ano}) \\ &= 4 \times 10^7 \text{ min} \end{aligned}$$

Encontre o número aproximado de inspirações durante a vida:

$$\begin{aligned} \text{número de inspirações} &= (10 \text{ inspirações/min}) (4 \times 10^7 \text{ min}) \\ &= 4 \times 10^8 \text{ inspirações} \end{aligned}$$

Portanto, uma pessoa inspira cerca de 10^9 vezes durante a vida. Note como é muito mais simples no primeiro cálculo multiplicar 400×25 do que trabalhar com o valor mais preciso 365×24 .

E se? E se a duração média de vida fosse estimada em 80 anos em vez de 70? Isso mudaria nossa estimativa final?

Resposta Poderíamos afirmar que $(80 \text{ anos}) (6 \times 10^5 \text{ min/ano}) = 5 \times 10^7 \text{ min}$; portanto, nossa estimativa final deveria ser de 5×10^8 inspirações. Essa resposta ainda é da ordem de 10^9 inspirações, portanto uma estimativa da ordem de módulo seria invariável.

1.5 | Algarismos significativos

Quando certas quantidades são medidas, os valores obtidos são conhecidos somente dentro dos limites da incerteza experimental, cujo valor pode depender de vários fatores, como a qualidade do equipamento, a habilidade do experimentador e o número de medições realizadas. O número de **algarismos significativos** em uma medição pode ser utilizado para expressar algo sobre incerteza. O número de algarismos significativos está relacionado com o de dígitos numéricos utilizados para expressar a medida, como veremos a seguir.

Como exemplo de algarismos significativos, suponha que tenhamos de medir o raio de um CD utilizando uma escala métrica. Consideremos que a precisão com a qual podemos medir o raio do disco seja $\pm 0,1$ cm. Em razão da incerteza de $\pm 0,1$ cm, se o raio medido é 6,0 cm, podemos afirmar apenas que esse valor está entre 5,9 cm e 6,1 cm. Nesse caso, dizemos que o valor medido de 6,0 cm tem dois algarismos significativos. Note que os *algarismos significativos incluem o primeiro dígito estimado*. Portanto, poderíamos escrever o raio como $(6,0 \pm 0,1)$ cm.

Zeros podem ou não ser algarismos significativos. Aqueles utilizados para posicionar o ponto decimal em números, como 0,03 e 0,007 5, não são significativos. Portanto, há um e dois algarismos significativos, respectivamente, nesses dois valores. Quando os zeros vêm depois de outros dígitos, entretanto, há possibilidade de interpretação equivocada. Por exemplo, suponha que a massa de um objeto seja fornecida como 1 500 g. Esse valor é ambíguo, porque não sabemos se os últimos dois zeros estão sendo utilizados para localizar o ponto decimal ou se representam algarismos significativos na medida. Para remover essa ambiguidade, é comum utilizar notação científica para indicar o número de algarismos significativos. Nesse caso, expressaremos a massa como $1,5 \times 10^3$ g se houver dois algarismos significativos no valor medido; $1,50 \times 10^3$ g se houver três algarismos significativos; e $1,500 \times 10^3$ g se houver quatro. A mesma regra se mantém para números menores que 1; portanto, $2,3 \times 10^{-4}$ tem dois algarismos significativos (e, portanto, poderia ser escrito 0,000 23), e $2,30 \times 10^{-4}$, três algarismos significativos (também escrito como 0,000 230).

Na resolução de problemas, com frequência combinamos grandezas matematicamente por multiplicação, divisão, adição, subtração e assim por diante. Ao fazer isso, você deve se certificar de que o resultado tem o número apropriado de algarismos significativos. Uma boa regra empírica para utilizar na determinação do número de algarismos significativos que podem ser requeridos em uma multiplicação ou divisão é a seguinte:

Quando se multiplicam várias grandezas, o número de algarismos significativos na resposta final é o mesmo que consta na grandeza que tem o número menor desses algarismos. A mesma regra se aplica à divisão.

Apliquemos essa regra para achar a área do CD cujo raio medimos anteriormente. Utilizando a equação para a área de um círculo,

$$A = \pi r^2 = \pi(6,0 \text{ cm})^2 = 1,1 \times 10^2 \text{ cm}^2$$

Se você efetuar esse cálculo em uma calculadora, provavelmente obterá 113,097 335 5. É claro que você não quer manter todos esses dígitos, mas pode ser tentado a relatar o resultado como 113 cm^2 , resultado que não se justifica, pois tem três algarismos significativos, enquanto o raio tem apenas dois. Portanto, devemos informar o resultado com apenas dois algarismos significativos, como mostrado acima.

Para adição e subtração, deve-se considerar o número de casas decimais ao determinar quantos algarismos significativos informar:

Quando números são adicionados ou subtraídos, o número de casas decimais no resultado deve ser igual ao menor número de casas decimais de qualquer um dos termos.

Como exemplo dessa regra, considere a soma

$$23,2 + 5,174 = 28,4$$

Observe que não informamos a resposta como 28,374, porque o menor número de casas decimais é um para 23,2. Portanto, nossa resposta deve ter apenas uma casa decimal.

Prevenção de Armadilhas | 1.4

Leitura cuidadosa

Observe que a regra para adição e subtração é diferente daquela para multiplicação e divisão. Para adição e subtração, a consideração importante é o número de *casas decimais*, não o de *algarismos significativos*.

As regras para adição e subtração podem frequentemente resultar em respostas que têm um número diferente de algarismos significativos do que as grandezas com as quais você começa. Por exemplo, considere estas operações que satisfazem a regra:

$$1,000\ 1 = 0,000\ 3 = 1,000\ 4$$

$$1,002 - 0,998 = 0,004$$

No primeiro exemplo, o resultado tem cinco algarismos significativos, mesmo que um dos termos, 0,000 3, tenha apenas um algarismo significativo. De maneira similar, no segundo cálculo, o resultado só tem um algarismo significativo, ainda que os números que são subtraídos tenham quatro e três, respectivamente.

► Diretrizes de algarismos significativos utilizadas neste livro

Neste livro, a maioria dos exemplos numéricos e problemas do final de capítulo produzirá respostas com três algarismos significativos. Ao realizarmos cálculos estimados, normalmente trabalharemos com um único algarismo significativo.

Prevenção de Armadilhas | 1.5

Soluções simbólicas

Ao resolver problemas, é muito útil efetuar a resolução completamente na forma algébrica e esperar até o fim para inserir valores numéricos na expressão simbólica final. Esse método economizará muitas teclas da calculadora, especialmente se algumas grandezas se cancelarem, de maneira que você nunca terá de inserir seus valores na calculadora! Além disso, você só terá de arredondar uma vez, no resultado final.

Se o número de algarismos significativos no resultado do cálculo tiver de ser reduzido, há uma regra geral para arredondar os números: o último dígito retido sofrerá um incremento de 1 se o último dígito a ser abandonado for maior que 5. (Por exemplo, 1,346 torna-se 1,35.) Se o último dígito a ser abandonado for menor que 5, o último dígito retido permanecerá como é. (Por exemplo, 1,343 torna-se 1,34.) Se o último dígito abandonado for igual a 5, o dígito remanescente deverá ser arredondado ao número par mais próximo. (Essa regra ajuda a evitar acúmulo de erros em processos aritméticos longos.)

Uma técnica para evitar acúmulo é retardar o arredondamento de números em um cálculo longo até ter o resultado final. Espere até estar pronto para copiar a resposta final de sua calculadora para arredondar com o número correto de algarismos significativos. Neste livro, exibimos valores numéricos arredondados com dois ou três algarismos significativos. Isso ocasionalmente faz algumas manipulações matemáticas parecerem estranhas ou incorretas. Por

exemplo, olhando adiante o Exemplo 1.8, você verá a operação $-17,7\text{ km} + 34,6\text{ km} = 17,0\text{ km}$. Parece uma subtração incorreta, mas é só porque arredondamos os números 17,7 km e 34,6 km para exibição. Se todos os dígitos nesses dois números intermediários forem mantidos e o arredondamento só for feito no número final, o resultado correto de três dígitos 17,0 km será obtido.

Exemplo 1.5 | Instalando carpete

Um carpete deve ser instalado em uma sala retangular, cujas medidas são 12,71 m de comprimento e 3,46 m de largura. Encontre a área da sala.

SOLUÇÃO

Se você multiplicar 12,71 m por 3,46 m na calculadora, obterá a resposta 43,976 6 m². Quantos desses números se podem indicar? Nossa regra para multiplicação diz que você pode indicar em sua resposta apenas o número de algarismos significativos presentes na quantidade medida que tiver o menor número desses algarismos. Neste exemplo, o menor número de algarismos significativos é três, em 3,46 m; portanto, devemos expressar nossa resposta final como 44,0 m².

1.6 | Sistemas de coordenadas

Muitos aspectos da física de algum modo lidam com localizações no espaço. Por exemplo, a descrição matemática do movimento de um objeto exige um método para especificar a posição desse objeto. Portanto, primeiro discutiremos como descrever a posição de um ponto no espaço por meio de coordenadas em uma representação gráfica. Um ponto em uma linha pode ser localizado com uma coordenada; situa-se um ponto em um plano com duas coordenadas, enquanto três coordenadas são necessárias para localizar um ponto no espaço.

Um sistema de coordenadas usado para especificar localizações no espaço consiste em

- Um ponto de referência fixo O , chamado origem.
- Um conjunto de eixos ou direções especificados com uma escala apropriada e rótulos nos eixos.
- Instruções que nos digam como rotular um ponto no espaço relativo à origem e aos eixos.

Um sistema de coordenadas conveniente que utilizaremos com frequência é o *sistema cartesiano de coordenadas*, às vezes chamado de *sistema retangular de coordenadas*. Esse sistema em duas dimensões é ilustrado na Figura 1.3. Um ponto arbitrário nele é rotulado com as coordenadas (x, y) . O x positivo é levado para a direita da origem, e o y positivo fica acima dela. O x negativo fica à esquerda da origem, e o y negativo, abaixo dela. Por exemplo, o ponto P , que tem as coordenadas $(5, 3)$, pode ser obtido ao ir primeiro 5 m à direita da origem e depois 3 m acima dela (ou ir 3 m acima da origem e depois 5 m à direita). Da mesma forma, o ponto Q tem coordenadas $(-3, 4)$, o que corresponde a ir 3 m à esquerda da origem e 4 m acima dela.

Às vezes, é mais conveniente representar um ponto em um plano por suas *coordenadas polares planas* (r, θ) , como na Figura Ativa 1.4a. Nesse sistema de coordenadas, r é o comprimento da linha da origem para o ponto, e θ , o ângulo entre a linha e um eixo fixo, normalmente o eixo x positivo, com θ medido no sentido anti-horário. A partir do triângulo retângulo na Figura Ativa 1.4b, vemos que $\sin \theta = y/r$ e $\cos \theta = x/r$. (Uma revisão das funções trigonométricas é fornecida no Anexo B.4.) Portanto, começando com as coordenadas polares planas de um ponto qualquer, podemos obter as coordenadas cartesianas por meio das equações

$$x = r \cos \theta \quad 1.2 \blacktriangleleft$$

$$y = r \sin \theta \quad 1.3 \blacktriangleleft$$

Além disso, se soubermos as coordenadas cartesianas, as definições da trigonometria nos dirão que

$$\tan \theta = \frac{y}{x} \quad 1.4 \blacktriangleleft$$

e

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad 1.5 \blacktriangleleft$$

Você deve observar que essas expressões que relacionam as coordenadas (x, y) às coordenadas (r, θ) se aplicam apenas quando θ é definido como mostrado na Figura Ativa 1.4a, em que θ positivo é um ângulo medido no *sentido anti-horário* a partir do eixo x . Outras escolhas são feitas na navegação e na astronomia. Se o eixo de referência para o ângulo polar θ for escolhido para ser outro que não o eixo x positivo, ou se o sentido de aumento θ for escolhido de maneira diferente, as expressões correspondentes relacionadas aos dois conjuntos de coordenadas mudarão.

1.7 | Vetores e escalares

Cada uma das grandezas físicas que encontraremos neste livro pode ser colocada em uma das duas categorias: **escalar** ou **vetor**. **Escalar** é uma grandeza completamente especificada por um número positivo ou negativo com unidades apropriadas. Por sua vez, **vetor** é uma grandeza física que deve ser especificada por módulo (ou magnitude)⁵ e direção e sentido.

O número de uvas em um cacho (Fig. 1.5a) é um exemplo de grandeza escalar. Se você soubesse que há 38 uvas no cacho, esse dado especificaria completamente a informação; nenhuma especificação de direção é necessária. Outros exemplos de grandezas escalares são temperatura, volume, massa e intervalos de tempo. As regras da aritmética comum são usadas para manipular as grandezas escalares, as quais podem ser livremente somadas, subtraídas (desde que sejam as mesmas unidades!), multiplicadas e divididas.

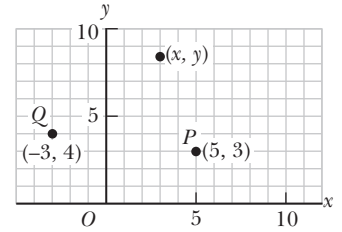
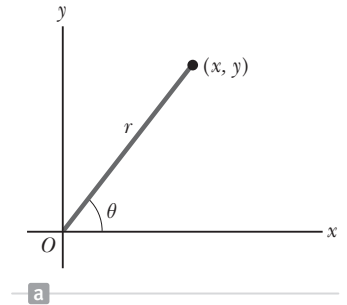


Figura 1.3 Designação de pontos em um sistema de coordenadas cartesianas. Cada quadrado no plano xy tem 1 m de lado. Cada ponto é identificado com coordenadas (x, y) .



$$\sin \theta = \frac{y}{r}$$

$$\cos \theta = \frac{x}{r}$$

$$\tan \theta = \frac{y}{x}$$

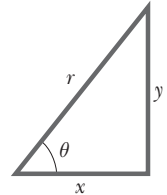


Figura Ativa 1.4 (a) As coordenadas polares planas de um ponto são representadas pela distância r e o ângulo θ , em que θ é medido no sentido anti-horário a partir do eixo x positivo. (b) O triângulo retângulo utilizado para relacionar (x, y) a (r, θ) .

⁵ N.R.T.: Módulo norma ou módulo do vetor representa o seu “tamanho”. Para simplificação, usaremos apenas o termo “módulo”.

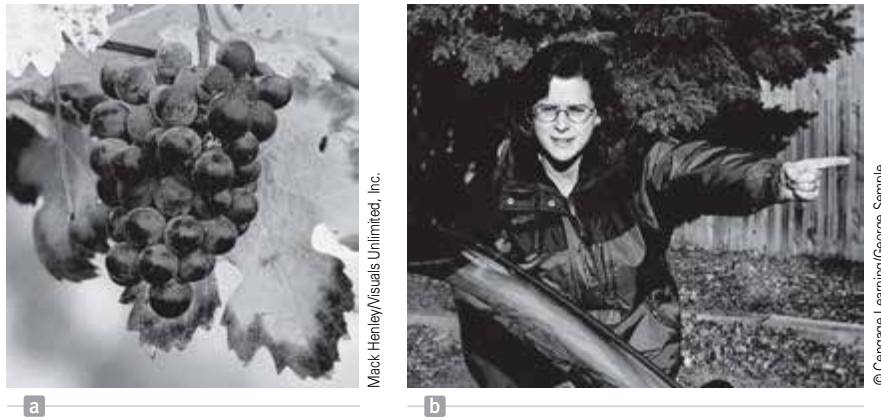


Figura 1.5 (a) O número de uvas nesse cacho é um exemplo de grandeza escalar. Você consegue pensar em outros exemplos? (b) Essa pessoa prestativa apontando para a direção correta nos diz para percorrer cinco quarteirões ao norte para chegar ao tribunal. Vetor é uma quantidade física especificada por módulo e direção.

Força é um exemplo de grandeza vetorial. Para que possamos descrever completamente a força em um objeto, devemos especificar a direção da força aplicada e o módulo desta.

► Deslocamento

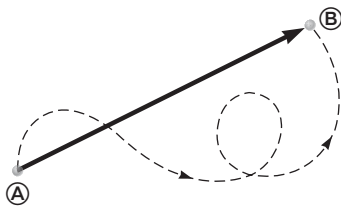


Figura 1.6 Conforme uma partícula se move de A para B ao longo de uma trajetória arbitrária representada pela linha tracejada, seu deslocamento é uma grandeza vetorial mostrada pela seta desenhada de A a B.

► Distância

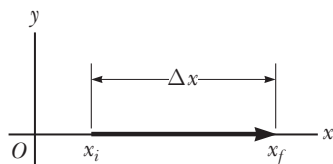


Figura 1.7 Uma partícula que se move ao longo do eixo x de x_i a x_f sofre um deslocamento $\Delta x \equiv x_f - x_i$.

Outro exemplo simples de uma grandeza vetorial é o **deslocamento** de uma partícula, definido conforme a *mudança de posição* desta. A pessoa da Figura 1.5b aponta na direção do vetor deslocamento com base no qual você poderá chegar a um destino, que, nesse caso, é o tribunal. Ela também lhe dirá o módulo do deslocamento junto com a direção e sentido por exemplo: “5 quarteirões ao norte”.

Suponha que a partícula se mova de algum ponto A para um ponto B em um caminho reto, como na Figura 1.6. Esse deslocamento pode ser representado pelo desenho de uma seta de A para B, em que a posição da seta representa a direção do deslocamento, cujo comprimento representa o módulo do deslocamento. Se a partícula viaja ao longo de alguma outra trajetória de A a B, tal como mostrado pela linha tracejada na Figura 1.6, seu deslocamento é ainda a seta desenhada de A para B. O deslocamento vetorial ao longo de qualquer caminho indireto de A a B é definido como sendo equivalente àquele representado pelo caminho direto de A a B. O módulo do deslocamento é a distância mais curta entre os pontos finais. Portanto, **o deslocamento de uma partícula será completamente conhecido se suas coordenadas iniciais e finais forem conhecidas**. O caminho não precisa ser especificado. Em outras palavras, o **deslocamento será independente do caminho** se os pontos finais do caminho forem fixos.

Observe que a **distância** percorrida por uma partícula é bastante diferente de seu deslocamento. A distância percorrida (uma quantidade escalar) é o comprimento do caminho, que, em geral, pode ser bem maior que o módulo do deslocamento. Na Figura 1.6, o comprimento do caminho curvo tracejado é bem maior que o módulo do vetor deslocamento sólido negro.

Se a partícula se move ao longo do eixo x da posição x_i para a posição x_f , como na Figura 1.7, seu deslocamento é dado por $x_f - x_i$. (Os índices i e f referem-se aos valores iniciais e finais.) Utilizamos a letra grega delta (Δ) para indicar a mudança em uma quantidade. Portanto, definimos a mudança na posição da partícula (o deslocamento) como

$$\Delta x \equiv x_f - x_i$$

1.6 ◀

Com base nessa definição, vemos que Δx será positivo se x_f for maior que x_i , e negativo se x_f for menor que x_i . Por exemplo, se uma partícula muda sua posição de $x_i = -5$ m para $x_f = 3$ m, seu deslocamento é $\Delta x = +8$ m.

Muitas grandezas físicas, além do deslocamento, são vetores, os quais incluem velocidade, aceleração, força e momento, e todos serão definidos nos capítulos a seguir. Aqui, usamos letras em negrito com uma seta em cima,

como \vec{A} , para representar os vetores. Uma outra notação comum para os vetores com os quais você deve estar familiarizado é um caractere simples em negrito: **A**.

Para representarmos o módulo do vetor \vec{A} , escrevemos A ou $|\vec{A}|$. O módulo de um vetor sempre é positivo e carrega as unidades da grandeza que o vetor representa, como metros para o deslocamento ou metros por segundo para a velocidade. Os vetores se combinam de acordo com as regras especiais, que serão discutidas nas seções 1.8 e 1.9.

TESTE RÁPIDO 1.3 Das alternativas a seguir, quais são grandezas vetoriais e quais são escalares? (a) sua idade (b) aceleração (c) velocidade (d) massa.

PENSANDO EM FÍSICA 1.1

Considere seu trajeto para o trabalho ou para a escola pela manhã. O que é maior: a distância percorrida ou o módulo do vetor deslocamento?

Raciocínio A menos que você tenha feito um trajeto bem incomum, a distância percorrida *deve* ser maior que o módulo do vetor deslocamento. A distância inclui os resultados de todos os giros e voltas que você fez para seguir os caminhos de casa para o trabalho ou para a escola. Por sua vez, o módulo do vetor deslocamento é o comprimento de uma linha reta da sua casa para o trabalho ou para a escola. Esse comprimento é muitas vezes descrito informalmente como “a distância em linha reta”. Para que a distância seja idêntica ao módulo do vetor deslocamento, o trajeto deve ser uma linha reta perfeita, o que é altamente improvável! A distância *nunca* poderá ser menor que o módulo do vetor deslocamento porque a distância mais curta entre dois pontos é uma linha reta. ◀

1.8 | Algumas propriedades dos vetores

Igualdade de dois vetores

Dois vetores \vec{A} e \vec{B} poderão ser definidos como iguais se tiverem o mesmo módulo e a mesma direção e sentido. Isto é, $\vec{A} = \vec{B}$ somente se $A = B$ e \vec{A} e \vec{B} apontarem para a mesma direção e sentido. Por exemplo, todos os vetores na Figura 1.8 são iguais, ainda que tenham pontos de partida diferentes. Essa propriedade nos permite mover um vetor paralelo para ele mesmo em um diagrama sem afetar o vetor.

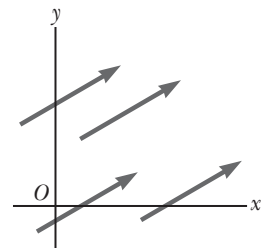


Figura 1.8 Essas quatro representações de vetores são iguais porque todos os vetores têm o mesmo módulo e apontam na mesma direção e sentido.

Adição

As regras para adição de vetores são convenientemente descritas por um método gráfico. Para adicionar um vetor \vec{B} a um vetor \vec{A} , primeiro desenhe um diagrama do vetor \vec{A} em um papel milimetrado, com seu módulo representado por uma escala conveniente, e depois desenhe o vetor \vec{B} na mesma escala, com sua origem na extremidade do vetor \vec{A} , conforme mostrado na Figura Ativa 1.9a. O *vetor resultante* $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B}$ é aquele desenhado da cauda de \vec{A} à ponta de \vec{B} . A técnica para adicionar dois vetores geralmente é chamada “método cabeça-para-cauda”.

Quando vetores são adicionados, a soma é independente da origem da adição. Essa independência pode ser vista para dois vetores na construção geométrica na Figura Ativa 1.9b, conhecida como **lei comutativa da adição**:

$$\vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A}$$

1.7 ◀

Se três ou mais vetores são adicionados, a soma independe da maneira como eles são agrupados. Uma demonstração geométrica dessa propriedade para três vetores é dada na Figura 1.10. Essa propriedade é chamada **lei associativa da adição**:

Prevenção de Armadilhas | 1.6

Adição de vetores versus adição de quantidades escalares

Tenha em mente que $\vec{A} + \vec{B} = \vec{C}$ é bem diferente de $A + B = C$. A primeira equação é uma soma vetorial, que deve ser tratada com cuidado, como o método gráfico descrito na Figura Ativa 1.9. A segunda é uma adição algébrica simples de números que são tratados com as regras normais de aritmética.

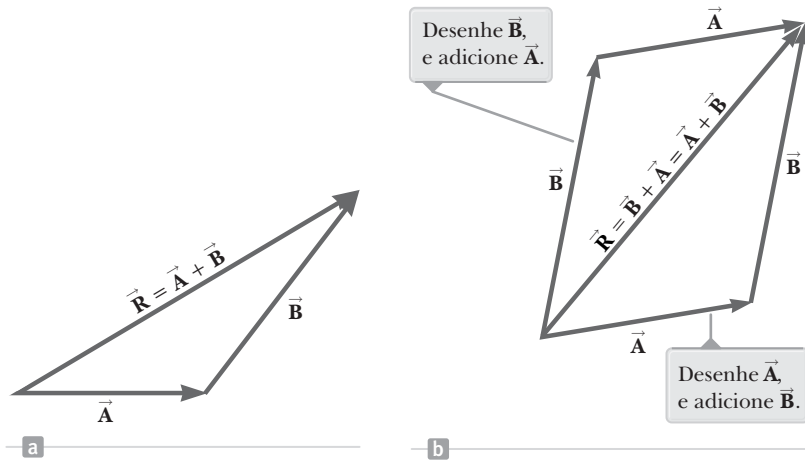


Figura Ativa 1.9 (a) Quando o vetor \vec{B} é adicionado ao vetor \vec{A} , o resultante \vec{R} é o vetor que passa da cauda de \vec{A} para a ponta de \vec{B} . (b) A construção mostra que $\vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A}$; a adição do vetor é comutativa.

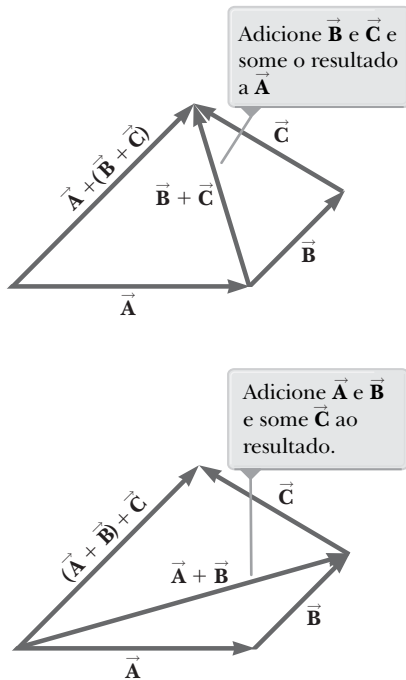


Figura 1.10 Construções geométricas para verificação da lei associativa da adição.

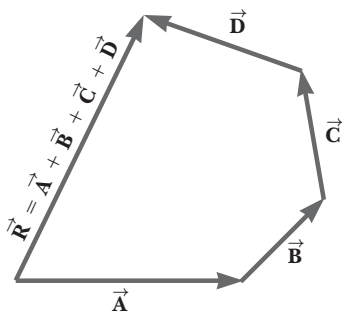


Figura 1.11 Construção geométrica para a soma de quatro vetores. O vetor resultante \vec{R} aproxima o polígono e os pontos da cauda do primeiro vetor até a ponta do vetor final.

$$\vec{A} + (\vec{B} + \vec{C}) = (\vec{A} + \vec{B}) + \vec{C}$$

1.8 ◀

Construções geométricas também podem ser usadas para adicionar mais de três vetores, como mostrado na Figura 1.11, para o caso de quatro vetores. O vetor resultante $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D}$ é o vetor que fecha o polígono formado pelos vetores que são adicionados. Em outras palavras, \vec{R} é o vetor desenhado da origem do primeiro à extremidade do último vetor. Novamente, a ordem da soma não é importante.

Em resumo, **uma grandeza vetorial tem módulo, direção e sentido, e também obedece às leis da adição de vetores**, conforme descrito na Figura Ativa 1.9 e nas Figuras 1.10 e 1.11. Quando dois ou mais vetores são adicionados, todos devem ter a mesma unidade e ser do mesmo tipo de quantidade. Não teria sentido adicionar um vetor velocidade (por exemplo, 60 km/h em direção ao leste) a um vetor deslocamento (por exemplo, 200 km em direção ao norte), pois esses vetores representam quantidades físicas diferentes. A mesma regra também se aplica às quantidades escalares. Por exemplo, não teria sentido adicionar intervalos de tempo a temperaturas.

Negativo de um vetor

O negativo do vetor \vec{A} é definido como o vetor que, quando adicionado a \vec{A} , fornece zero para a soma dos vetores. Isto é, $\vec{A} + (-\vec{A}) = 0$. Os vetores \vec{A} e $-\vec{A}$ têm o mesmo módulo na mesma direção, mas apontam em sentidos opostos.

Subtração de vetores

A operação de subtração de vetores faz uso da definição do negativo de um vetor. Definimos a operação $\vec{A} - \vec{B}$ como o vetor $-\vec{B}$ adicionado ao vetor \vec{A} :

$$\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B})$$

1.9 ◀

A construção geométrica para subtrair dois vetores dessa maneira é ilustrada na Figura 1.12.

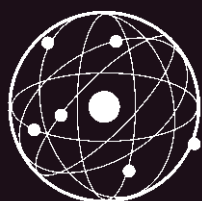
Multiplicação de um vetor por um escalar

Se um vetor \vec{A} for multiplicado por uma quantidade escalar positiva s , o produto $s\vec{A}$ será um vetor que tem a mesma direção e sentido que \vec{A} e

PRINCÍPIOS de FÍSICA VOLUME 1

TRADUÇÃO DA 5ª EDIÇÃO
NORTE-AMERICANA

RAYMOND A. SERWAY
JOHN W. JEWETT, JR.



MECÂNICA CLÁSSICA E RELATIVIDADE

Este livro, o primeiro volume de uma série de quatro, apresenta de forma clara e lógica os conceitos e os princípios básicos da Física, facilitando sua compreensão por meio de vários exemplos práticos que demonstram seu papel em outras disciplinas, bem como sua aplicação a situações do mundo real.

Nesta edição, os autores continuam a privilegiar o enfoque contextual para motivar o aluno, procuram evitar concepções errôneas e utilizam a estratégia de resolução de problemas focada em modelos, evitando os problemas corriqueiros quando se ministra um curso de física introdutório baseado no cálculo.

Neste volume: Introdução e vetores, Movimento em uma dimensão, Movimento em duas dimensões, As leis do movimento, Aplicações adicionais das Leis de Newton, Energia de um sistema, Conservação de energia, Momento e colisões, Relatividade, Movimento rotacional, Gravidade, órbitas planetárias e o átomo de hidrogênio.

Aplicações: Destina-se a disciplinas como Física Geral, Mecânica e Eletromagnetismo, dos cursos de Engenharia, Física, Matemática, Medicina e Biologia, entre outros.



Trilha é uma solução digital, com plataforma de acesso em português, que disponibiliza ferramentas multimídia para uma nova estratégia de ensino e aprendizagem.



Para suas soluções de curso e
aprendizado, visite www.cengage.com.br

ISBN 13 978-85-221-1636-2
ISBN 10 85-221-1636-9



9 788522 116362