

***Física II***  
PARA  
**LEIGOS®**

**Steven Holzner**



**ALTA BOOKS**  
E D I T O R A  
Rio de Janeiro, 2012

## *Sobre o Autor*

**Steven Holzner** lecionou Física na Universidade de Cornell por mais de uma década, ensinando milhares de estudantes. Ele é o autor premiado de vários livros, incluindo *Física Para Leigos*<sup>®</sup>, *Quantum Physics For Dummies* e *Differential Equations For Dummies*, além de livros de exercícios para os três títulos *For Dummies*. Formou-se no MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts) e obteve seu doutorado pela Cornell, fazendo parte do corpo docente de ambos.

## *Dedicatória*

Para Nancy, é claro.

## *Agradecimentos do Autor*

O livro que você tem em suas mãos é produto do trabalho de várias pessoas. Eu gostaria de agradecer particularmente à Editora de Aquisições, Tracy Boggier, à Editora Sênior de Projetos, Alissa Schwipps, à Editora Sênior de Reprodução, Danielle Voirol, aos Editores Técnicos Laurie Fuhr e Ron Reifenberger, e às várias pessoas talentosas dos Serviços de Composição.



# Sumário Resumido

---

<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>Parte I: Entendendo os Fundamentos da Física.....</b>	<b>7</b>
Capítulo 1: Entendendo Seu Mundo: Física II, a Sequência.....	9
Capítulo 2: Preparando-se para a Física II .....	19
<b>Parte II: Fazendo Trabalho de Campo: Eletricidade e Magnetismo .....</b>	<b>35</b>
Capítulo 3: Carregando Dispositivos com Eletricidade .....	37
Capítulo 4: A Atração do Magnetismo .....	61
Capítulo 5: Corrente e Tensão Alternadas.....	87
<b>Parte III: Pegando Ondas: Sonoras e Luminosas.....</b>	<b>113</b>
Capítulo 6: Explorando Ondas.....	115
Capítulo 7: Agora Ouça Isto: A Palavra no Som.....	127
Capítulo 8: Vendo a Luz: Quando a Eletricidade e o Magnetismo se Combinam.....	155
Capítulo 9: Flexionando e Focalizando a Luz: Refração e Lentes.....	175
Capítulo 10: Quicando Ondas de Luz: Reflexão e Espelhos.....	205
Capítulo 11: Lançando Luz Sobre Interferência de Ondas de Luz e Difração .....	221
<b>Parte IV: A Física Moderna .....</b>	<b>247</b>
Capítulo 12: Preste Atenção ao que Einstein Disse: A Relatividade Especial .....	249
Capítulo 13: Entendendo Energia e Matéria como Partículas e Ondas .....	273
Capítulo 14: Uma Pequena Visualização: A Estrutura dos Átomos.....	295
Capítulo 15: Física Nuclear e Radioatividade .....	319
<b>Parte V: A Parte dos Dez .....</b>	<b>339</b>
Capítulo 16: Dez Experimentos de Física que Mudaram o Mundo .....	341
Capítulo 17: Dez Ferramentas On-Line para Resolução de Problemas.....	347
<b>Índice .....</b>	<b>353</b>



# Sumário

---

<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
Sobre Este Livro.....	1
Convenções Usadas Neste Livro .....	2
Só de Passagem.....	2
Penso que.....	3
Como Este Livro Está Organizado .....	3
Parte I: Entendendo os Fundamentos da Física .....	3
Parte II: Fazendo Algum Trabalho de Campo: Eletricidade e Magnetismo .....	4
Parte III: Pegando Ondas Sonoras e Luminosas.....	4
Parte IV: A Física Moderna .....	4
Parte V: A Parte dos Dez.....	4
Ícones Usados Neste Livro .....	5
De Lá para Cá, Daqui para Lá.....	5
<b>Parte I: Entendendo os Fundamentos da Física.....</b>	<b>7</b>
<b>Capítulo 1: Entendendo Seu Mundo: Física II, a Sequência.....</b>	<b>9</b>
Familiarizando-se com a Eletricidade e o Magnetismo .....	10
Estudando as cargas estáticas e campo elétrico.....	10
Avançando para o magnetismo .....	11
Circuitos CA: A regeneração da corrente com campos elétricos e magnéticos.....	11
Viajando nas Ondas .....	12
Convivendo com as ondas sonoras .....	12
Descobrimo o que é a luz.....	12
Reflexão e refração: Fazendo a luz saltar e curvar.....	13
Buscando imagens: Lentes e espelhos .....	14
Chamando a interferência: Quando a luz colide com a luz .....	15
Ampliando com a Física Moderna.....	15
Iluminando os corpos negros: Corpos quentes	
produzem sua própria luz.....	15
Acelerando com a relatividade: Sim, $E=mc^2$ .....	16
Assumindo uma dupla identidade: A matéria também viaja em ondas .....	16
Aprendendo o “ $\alpha$ $\beta$ $\gamma$ ” da radioatividade.....	17

**Capítulo 2: Preparando-se para a Física II ..... 19**

Matemática e Medidas: Revisando Essas Competências Básicas .....	19
Usando os sistemas de medida MKS e CGS.....	20
Fazendo conversões comuns .....	20
Usando a notação científica para encurtar números.....	24
Uma revisão da Álgebra básica .....	24
Usando um pouco de Trigonometria.....	25
Usando dígitos significativos.....	26
Atualizando Sua Memória Física .....	27
Mostrando o caminho com vetores.....	28
Avançando com a velocidade e a aceleração .....	29
Tática do braço-de-ferro: Aplicando alguma força.....	30
Explorando o movimento circular.....	30
Ficando elétrico com circuitos.....	32

**Parte II: Fazendo Trabalho de Campo: Eletricidade e Magnetismo ..... 35****Capítulo 3: Carregando Dispositivos com Eletricidade..... 37**

Entendendo os Campos Elétricos .....	37
Não dá para perdê-la: A carga é conservada .....	38
Medindo cargas elétricas .....	38
Os opostos se atraem: Forças de atração e repulsão .....	39
Ficando Totalmente Carregado.....	40
Eletricidade estática: Construindo excesso de carga .....	40
Verificando métodos de carregamento.....	41
Considerando o meio: Condutores e isolantes.....	43
Lei de Coulomb: Calculando a Força entre Cargas.....	44
Apresentando Campos Elétricos .....	45
Folhas de carga: Apresentando campos básicos.....	45
Analisando campos elétricos a partir de objetos carregados.....	47
Campos elétricos uniformes: Muita calma com os capacitores de placas paralelas .....	48
Blindagem: O campo elétrico dentro de condutores.....	50
Tensão: Percebendo o Potencial .....	52
Entendendo os fatos concretos sobre potencial elétrico .....	52
Verificando qual é o trabalho necessário para movimentar cargas.....	53
Descobrimo o potencial elétrico de cargas .....	54
Ilustrando superfícies equipotenciais para cargas pontuais e placas.....	56
Armazenando Carga: Capacitores e Dielétricos .....	57
Verificando a quantidade de carga que os capacitores podem armazenar.....	57

Armazenagem adicional com os dielétricos.....	58
Calculando a energia de capacitores com dielétricos.....	59
<b>Capítulo 4: A Atração do Magnetismo.....</b>	<b>61</b>
Tudo sobre Magnetismo: Ligando Magnetismo e Eletricidade.....	62
Loops dos elétrons: Entendendo os ímãs permanentes e materiais magnéticos....	62
De norte a sul: Tornando-se polarizado .....	63
Definindo campo magnético.....	65
Continuando: Forças Magnéticas sobre Cargas .....	66
Descobrimo a magnitude da força magnética .....	66
Encontrando a direção com a regra da mão direita .....	67
Uma direção preguiçosa: Verificando como os campos magnéticos evitam o trabalho .....	68
Entrando em órbita: Acompanhando partículas carregadas em campos magnéticos .....	69
Chegando ao Fio Elétrico: Forças Magnéticas em Correntes Elétricas.....	74
Da velocidade para a corrente: Obtendo a corrente na fórmula da força magnética .....	74
Torque: Dando um toque na corrente dos motores elétricos .....	76
Indo à Fonte: Obtendo Campos Magnéticos a partir da Corrente Elétrica.....	79
Produzindo um campo magnético com um fio reto .....	79
O centro das atenções: Encontrando campos magnéticos a partir de loops de corrente.....	82
Somando loops: Construindo campos uniformes com solenoides .....	84
<b>Capítulo 5: Corrente e Tensão Alternadas.....</b>	<b>87</b>
Circuitos e Resistores CA: Resistindo ao Fluxo .....	87
Verificando a lei de Ohm para tensão alternada .....	88
Calculando a média: Usando o valor eficaz da corrente e da tensão .....	89
Permanecendo em fase: Conectando resistores a fontes de tensão alternada.....	90
Circuitos e Capacitores CA: Armazenando Carga em Campos Elétricos .....	91
Apresentando a reatância capacitiva .....	92
Saindo de fase: A corrente leva a tensão.....	94
Preservando a energia .....	95
Circuitos e Indutores CA: Armazenando Energia em Campos Magnéticos.....	95
Lei de Faraday: Entendendo como os indutores funcionam .....	96
Apresentando a reatância indutiva .....	101
Ficando para trás: A corrente se atrasa em relação à tensão .....	102
A Corrida Corrente-Tensão: Colocando Tudo Junto em Circuitos RLC em Série.....	103
Impedância: Os efeitos combinados de resistores, indutores e capacitores .....	104
Experiências de Pico: Calculando a Corrente Máxima em um Circuito RLC em Série....	109
Anulando a reatância .....	109



Calculando a frequência de ressonância .....	109
Semicondutores e Diodos: Limitando a Direção da Corrente.....	110
Adicionando uma “droga”: a fabricação de semicondutores .....	111
Corrente unidirecional: a criação de diodos.....	112
<b>Parte III: Pegando Ondas: Sonoras e Luminosas.....</b>	<b>113</b>
<b>Capítulo 6: Explorando Ondas .....</b>	<b>115</b>
A Energia se Movimenta: Fazendo Onda.....	115
Para cima e para baixo: Ondas transversais.....	116
Para trás e para frente: Ondas longitudinais.....	117
Propriedades das Ondas: Entendendo o que Faz as Ondas Vibrarem .....	117
Examinando as partes de uma onda.....	117
Relacionando matematicamente as partes de uma onda .....	119
Ficando atento ao seno: Gráficos de ondas.....	121
Quando as Ondas Colidem: O Comportamento das Ondas.....	124
<b>Capítulo 7: Agora Ouça Isto: A Palavra no Som .....</b>	<b>127</b>
Vibrando Apenas Para Ser Ouvido: Ondas Sonoras como Vibrações.....	127
Aumentando o Volume: Pressão, Potência e Intensidade .....	129
Sob pressão: Medindo a amplitude das ondas sonoras .....	130
Apresentando a intensidade do som.....	131
Calculando a Velocidade do Som .....	133
Rápida: A velocidade do som em gases .....	134
Mais rápida: A velocidade do som em líquidos .....	136
Mais rápida ainda: A velocidade do som em sólidos .....	137
Analisando o Comportamento das Ondas Sonoras .....	139
O eco: Reflexão das ondas sonoras .....	139
Compartilhando espaços: Interferência de ondas sonoras .....	141
Regras de flexão: Difração de ondas sonoras.....	148
Indo e vindo com o efeito Doppler .....	149
Quebrando a barreira do som: Ondas de choque .....	152
<b>Capítulo 8: Vendo a Luz: Quando a Eletricidade e o Magnetismo se Combinam.....</b>	<b>155</b>
Haja Luz! Gerando e Recebendo Ondas Eletromagnéticas.....	155
Criando um campo elétrico alternado.....	156
Obtendo um campo magnético alternado para equiparar .....	157
Recebendo ondas de radio.....	159
Olhando Para o Arco-Íris: Entendendo o Espectro Eletromagnético.....	161
Examinando o espectro eletromagnético.....	161

Relacionando a frequência e o comprimento de onda da luz .....	163
Para Quem Fica, Até Logo: Encontrando a Velocidade Máxima da Luz.....	164
Verificando a primeira experiência com a velocidade da luz que realmente funcionou .....	165
Calculando teoricamente a velocidade da luz.....	167
Você Tem a Força: Determinando a Densidade de Energia da Luz.....	169
Encontrando energia instantânea.....	169
Calculando a média da densidade de energia da luz .....	172
<b>Capítulo 9: Flexionando e Focalizando a Luz: Refração e Lentes .....</b>	<b>175</b>
Acenando Para os Raios: Desenhando Ondas de Luz de Forma mais Simples.....	175
Reduzindo a Velocidade da Luz: O Índice de Refração .....	177
Calculando a redução da velocidade .....	177
Calculando o desvio: A lei de Snell.....	179
Arco-íris: Separando comprimento de ondas.....	180
Desviando a Luz para Obter Reflexão Interna.....	182
De volta para você: Reflexão interna total .....	182
Luz polarizada: Obtendo uma reflexão parcial.....	184
Obtendo Recursos Visuais: Criando Imagens com Lentes .....	187
Definindo objetos e imagens .....	187
Agora tudo está entrando em foco: Lentes côncavas e convexas .....	188
Desenhando diagramas de raios.....	190
Entrando com Números: Encontrando Distâncias e Ampliações.....	194
Vencendo a distância com a equação das lentes finas .....	194
Avaliando a equação de ampliação.....	197
Combinando Lentes Para Maior Poder de Ampliação .....	199
Entendendo como os microscópios e telescópios funcionam .....	199
Obtendo um novo ângulo na ampliação.....	202
<b>Capítulo 10: Quicando Ondas de Luz: Reflexão e Espelhos.....</b>	<b>205</b>
A Pura Verdade: Refletindo Sobre os Conceitos Básicos de Espelhos.....	205
Obtendo os ângulos em espelhos planos .....	206
Formando imagens em espelhos planos .....	207
Verificando o tamanho do espelho .....	208
Trabalhando com Espelhos Esféricos .....	210
Obtendo uma visão da parte interna dos espelhos côncavos.....	212
Cada vez menor: Observando o funcionamento de espelhos convexas .....	215
Um Resumo dos Números: Usando Equações Para Espelhos Esféricos .....	216
Obtendo números com a equação do espelho .....	217
Descobrendo se é maior ou menor: Ampliação .....	219

**Capítulo 11: Lançando Luz Sobre Interferência de Ondas de Luz e Difração...221**

Quando as Ondas Colidem: Apresentando a Interferência da Luz.....	222
Encontro nas barras: Em fase com a interferência construtiva.....	222
Deixando tudo escuro: Fora de fase com interferência destrutiva.....	224
A Interferência em Ação: Obtendo Duas Fontes de Luz Coerentes.....	226
Dividindo a luz com fendas duplas .....	227
Arco-íris de poças de gasolina: Dividindo a luz com interferência de filme fino .....	231
Difração de Fenda Única: Recebendo Interferência de Ondulações .....	235
O princípio de Huygens: Verificando como a difração funciona com uma fenda única .....	236
Obtendo as franjas no padrão de difração .....	237
Fazendo cálculos de difração.....	240
Fendas Múltiplas: Chegando ao Limite com Rede de Difração .....	241
Separando cores com grades de difração .....	241
Experimentando alguns cálculos de grades de difração .....	242
Vendo com Clareza: O Poder de Resolução e de Difração a Partir de um Orifício .....	243

**Parte IV: A Física Moderna ..... 247****Capítulo 12: Preste Atenção ao que Einstein Disse: A Relatividade Especial ...249**

Decolando com os Fundamentos da Relatividade.....	250
Comece a partir de onde você está: Entendendo sistemas de referência.....	250
Observando os postulados da relatividade especial .....	252
Verificando a Relatividade Especial em Funcionamento .....	253
Tempo de desaceleração: Descontraindo com a dilatação do tempo .....	254
Fazendo a compactação: A contração do comprimento .....	259
Ganhando momento próximo à velocidade da luz .....	262
Aqui Está Ela! Igualando Massa e Energia com $E = mc^2$ .....	264
A energia de repouso de um objeto: A energia que você poderia obter a partir da massa .....	265
A energia cinética de um objeto: A energia do movimento.....	267
Omitindo a $E_p$ .....	270
Nova Matemática: Somando Velocidades Próximas à da Luz .....	270

**Capítulo 13: Entendendo Energia e Matéria como Partículas e Ondas .....273**

Radiação de Corpo Negro: Descobrimos a Natureza Corpuscular da Luz .....	274
Entendendo o problema com radiação de corpo negro .....	274
Mantendo a discrição com a constante de Planck .....	275
Pacotes de Energia de Luz: Avançando com o Efeito Fotoelétrico .....	276
Compreendendo o mistério do efeito fotoelétrico.....	276

A contribuição de Einstein: Apresentando os fótons .....	277
Explicando por que a energia cinética dos elétrons não depende da intensidade .....	279
Explicando por que os elétrons são emitidos instantaneamente .....	280
Fazendo cálculos com o efeito fotoelétrico .....	281
Colisões: Demonstrando a Natureza da Partícula da Luz com o Efeito Compton .....	282
O Comprimento de Onda de De Broglie: Observando a Natureza Ondulatória da Matéria.....	285
Elétrons interferentes: Confirmando a hipótese de De Broglie .....	286
Calculando comprimentos de onda da matéria .....	286
Não Tenho Certeza Sobre Isso: O Princípio da Incerteza de Heisenberg .....	288
Entendendo a incerteza na difração de elétrons .....	288
Deduzindo a relação de incerteza.....	289
Cálculos: Observando o princípio da incerteza em ação .....	292
<b>Capítulo 14: Uma Pequena Visualização: A Estrutura dos Átomos .....</b>	<b>295</b>
Compreendendo o Átomo: O Modelo Planetário .....	296
O Espalhamento de Rutherford: Encontrando o Núcleo a Partir do Espalhamento de Partículas Alfa .....	296
Átomos em colapso: Desafiando o modelo planetário de Rutherford .....	297
Respondendo aos desafios: Mantendo a descrição com a linha espectral .....	298
Ajustando o Modelo Planetário do Átomo de Hidrogênio: O Modelo de Bohr .....	301
Encontrando as energias permitidas dos elétrons no átomo de Bohr.....	302
Encontrando os raios permitidos das órbitas dos elétrons no átomo de Bohr .....	303
Encontrando a constante de Rydberg usando a linha espectral do hidrogênio .....	306
Colocando tudo isso junto com diagramas de níveis de energia.....	307
De Broglie pondera sobre a teoria de Bohr: Dando uma razão para a quantização .....	308
Configuração do Elétron: Relacionando a Física Quântica ao Átomo .....	309
Compreendendo os quatro números quânticos .....	310
Cálculos numéricos: Calculando o número de estados quânticos .....	312
Átomos de múltiplos elétrons: Acrescentando elétrons com o princípio de exclusão de Pauli .....	314
Usando notação abreviada para a configuração eletrônica .....	316
<b>Capítulo 15: Física Nuclear e Radioatividade.....</b>	<b>319</b>
Mexendo com a Estrutura Nuclear .....	319
Agora um pouco de química: Classificação da massa e do número atômico .....	320
Números de nêutrons: Apresentando os isótopos.....	321
Rapaz, como isso é pequeno: Encontrando o raio e o volume do núcleo .....	323
Calculando a densidade do núcleo .....	323
A Poderosa Força Nuclear: Mantendo o Núcleo Bastante Estável .....	324

Encontrando a força de repulsão entre prótons .....	325
Mantendo os prótons juntos com a força forte .....	325
Segure firme: Encontrando a energia de ligação do núcleo .....	327
Entendendo os Tipos de Radioatividade, a partir de $\alpha$ a $\gamma$ .....	328
Liberando hélio: Decaimento alfa radioativo .....	330
Ganhando prótons: Decaimento beta radioativo .....	331
Emissão de fótons: Decaimento gama radioativo .....	332
Pegue Seu Contador Geiger: Meia-Vida e Decaimento Radioativo .....	333
Meio-tempo: Apresentando a meia-vida .....	334
Taxas de decaimento: Apresentando a atividade .....	336
<b>Parte V: A Parte dos Dez .....</b>	<b>339</b>
<b>Capítulo 16: Dez Experimentos de Física que Mudaram o Mundo.....</b>	<b>341</b>
Medição da Velocidade da Luz de Michelson .....	342
Experiência de Fendas Duplas de Young: A Luz é Uma Onda .....	342
Elétrons Saltadores: O Efeito Fotoelétrico .....	343
Descoberta de Ondas de Matéria de Davisson e Germer .....	343
Os Raios-X de Röntgen.....	344
Descoberta da Radioatividade Por Marie Curie .....	344
A Descoberta do Núcleo do Átomo de Rutherford .....	345
Colocando Uma Rotação Nele: A Experiência de Stern-Gerlach .....	345
A Idade Atômica: A Primeira Pilha Atômica .....	346
Verificação da Relatividade Especial .....	346
<b>Capítulo 17: Dez Ferramentas On-Line para Resolução de Problemas .....</b>	<b>347</b>
Calculadora de Soma de Vetores .....	347
Calculadora de Aceleração Centrípeta (Movimento Circular).....	347
Calculadora de Energia Armazenada em um Capacitor .....	348
Calculadora de Frequência de Ressonância Elétrica.....	348
Calculadora de Reatância capacitiva .....	349
Calculadora de Reatância Indutiva.....	349
Calculadora de Frequência e Comprimento de Onda.....	349
Calculadora de Contração do Comprimento .....	350
Calculadora da Relatividade.....	350
Calculadora de Meia-vida.....	351
<b>Índice.....</b>	<b>353</b>

# Introdução

---

**P**ara muitas pessoas, a Física é algo aterrorizante. E os cursos de Física II realmente introduzem muitos conceitos alucinantes, como as ideias de que massa e energia são aspectos da mesma coisa, que a luz é apenas uma mistura de campos elétricos e magnéticos, e que cada elétron girando em torno de um átomo cria um imã em miniatura. Em Física II, as cargas saltam, a luz se dobra e o tempo se estende — e não porque a turma parou de prestar atenção no meio da aula. Jogue um pouco de matemática na mistura e, muitas vezes, parece que a Física leva sempre a melhor. E isso é uma pena, porque a Física não é sua inimiga — ela é sua aliada.

As ideias podem ter vindo de Albert Einstein e de outras pessoas que conseguiram dar seus nomes a leis, constantes e unidades de medidas, mas você não precisa ser um gênio para entender Física II. Afinal, ela é uma ciência que trata de foguetes de maneira apenas parcial — e foguetes muito legais, que se aproximam da velocidade da luz.

Muitas descobertas nesse campo vieram de estudantes, pesquisadores e outras pessoas que simplesmente tiveram curiosidade sobre seu mundo, que fizeram experiências e, muitas vezes, o resultado não foi o esperado. Neste livro, eu lhe apresento algumas dessas descobertas, analiso a matemática que descreve seus resultados e dou-lhe uma ideia de como as coisas funcionam — da forma como os físicos as entendem.

## *Sobre Este Livro*

*Física II Para Leigos*<sup>®</sup> é para a mente curiosa. Seu objetivo é explicar centenas de fenômenos que você pode observar ao seu redor. Por exemplo, como a luz polarizada realmente funciona? Por que os eletroímãs nos motores elétricos geram magnetismo? E se alguém lhe der um grama de material radioativo com meia-vida de 22 mil anos, você deve entrar em pânico?

Estudar Física é estudar o mundo. O *seu* mundo. Esse é o tipo de perspectiva que tomo neste livro. Aqui, eu tento relacionar a Física à sua vida, e não o contrário. Assim, nos próximos capítulos, você vai ver como telescópios e microscópios funcionam e descobrirá o que faz um

diamante cortado corretamente tão brilhante. Você vai descobrir como as antenas de rádio captam sinais e como os imãs fazem os motores funcionar. Você vai ver quão rapidamente a luz e o som podem viajar, e vai ter uma ideia do que realmente significa alguma coisa se tornar radioativa.

Quando você entender esses conceitos, vai perceber que a matemática na física não é um desfile de problemas com palavras terríveis; é uma forma de ligar medidas reais a toda aquela teoria. Fique tranquilo, pois a matemática que uso neste livro é relativamente simples — as equações não exigem qualquer outro conhecimento além da álgebra e da trigonometria.

*Física II Para Leigos*<sup>®</sup> começa onde um curso de Física I acaba — depois do estudo das leis do movimento, forças, energia e termodinâmica. As aulas de Física I e Física II algumas vezes se sobrepõem, de forma que você encontrará informações sobre eletricidade e magnetismo nos dois livros (*Física e Física II Para Leigos*<sup>®</sup>). Mas, em *Física II Para Leigos*<sup>®</sup>, eu abordo esses tópicos com mais profundidade.

Uma boa coisa sobre este livro é que você decide onde começar e o que ler. É um guia de referência através do qual você pode navegar como quiser, basta consultar o Sumário e o Índice para encontrar a informação que você quer.

## Convenções Usadas Neste Livro

Alguns livros têm várias convenções absurdas que você precisa conhecer antes de começar a leitura. Não é o que acontece com este livro. Tudo que você precisa saber é o seguinte:

- ✓ Novos termos aparecem em itálico, desta *forma*, e estão acompanhados por uma definição.
- ✓ Variáveis, como *m* para *massa*, aparecem em itálico. Caso você encontre uma letra ou abreviação em um cálculo e ela não estiver em itálico, trata-se de uma unidade de medida; por exemplo, 2,0 m correspondem a 2,0 metros.
- ✓ Vetores — esses itens que têm tanto uma magnitude como uma direção — aparecem em negrito e itálico, como este: ***N***.

E essas são todas as convenções que você precisa conhecer!

## Só de Passagem

Além do texto principal do livro, eu incluí alguns elementos extras que poderão ser esclarecedores ou interessantes: boxes e parágrafos sinalizados com o ícone Papo de Especialista. Os boxes aparecem em quadros cinza

sombreado, e lhe darão alguns bons exemplos, ou contarão histórias que acrescentam um colorido ou mostram como a história principal da Física se ramificou. Os parágrafos de Papo de Especialista vão lhe dar um pouco mais de informação técnica sobre o assunto em questão. Você não precisará resolver esses problemas: poderá ficar apenas curioso.

Se estiver com pressa, poderá pular esses elementos sem ferir meus sentimentos. Mesmo sem eles, você ainda entenderá a história principal.

## Penso que...

Neste livro, eu presumi o seguinte:

- ✓ Você é um estudante que já está familiarizado com um texto de Física I, como *Física para Leigos*. Você não precisa ser um especialista. Desde que tenha um conhecimento razoável desse material, já estará bom. Você deve entender ideias como, massa, velocidade, força, e assim por diante, mesmo que não se lembre das fórmulas.
- ✓ Você está familiarizado com o sistema métrico, ou SI (Sistema Internacional de Unidades) e é capaz de fazer a conversão entre unidades de medida e sabe como usar prefixos métricos. Eu incluo uma revisão de como trabalhar com medidas no Capítulo 2.
- ✓ Você sabe álgebra e trigonometria básicas. Eu lhe direi o que for necessário no Capítulo 2, de forma que não precise se preocupar. Este livro não requer nenhum cálculo e você poderá fazer todas as contas em uma calculadora científica padrão.

## Como Este Livro Está Organizado

Como a própria Física, este livro está organizado em diferentes partes. A seguir, estão as partes e o assunto de que tratam.

### ***Parte I: Entendendo os Fundamentos da Física***

A Parte I começa com uma visão geral da Física II, introduzindo os objetivos da Física e os principais tópicos abordados em um curso padrão de Física II. Esta parte também vai atualizá-lo com os fundamentos da Física I — apenas aquilo que você precisa para este livro. Não se pode construir sem alicerces e você terá a base de que precisa aqui.



## ***Parte II: Fazendo Alguém Trabalho de Campo: Eletricidade e Magnetismo***

A eletricidade e o magnetismo correspondem a uma grande parte da Física II. Ao longo dos anos, os físicos têm conseguido explicar muito bem esses tópicos. Nesta parte, você estudará a eletricidade e o magnetismo, incluindo informações sobre cargas individuais, circuitos CA (corrente alternada), ímãs permanentes e campos magnéticos — e (possivelmente a mais importante), você compreenderá como a eletricidade e o magnetismo se conectam para criar ondas eletromagnéticas (como na luz).

## ***Parte III: Pegando Ondas Sonoras e Luminosas***

Esta parte abrange ondas em geral, incluindo as ondas sonoras e luminosas. Das duas, a luz é o tópico mais abrangente — você poderá ver como as ondas interagem e interferem umas com as outras, assim como a forma como elas agem quando atravessam fendas simples e duplas, refletindo objetos, atravessando o vidro e a água, e outros tipos de coisas. O estudo da ótica inclui objetos do dia-a-dia, como lentes, espelhos, câmeras, óculos de sol com lentes polarizadas e mais.

## ***Parte IV: A Física Moderna***

Esta parte vai levá-lo aos tempos modernos com a teoria da relatividade especial, a dualidade partícula-onda da matéria, e a radioatividade. A relatividade é aquela famosa, é claro, e você vai ver muito de Einstein nesta parte. Você também vai ver muitos outros físicos que participaram da discussão das viagens da matéria como ondas. Você vai ler tudo sobre radioatividade e estrutura atômica.

## ***Parte V: A Parte dos Dez***

Os capítulos nesta parte abrangem dez tópicos em uma sucessão rápida. Você vai dar uma olhada em dez experimentos da física que mudaram o mundo, levando a descobertas em todas as áreas, desde a relatividade especial até a radioatividade. Você também poderá consultar dez calculadoras on-line, que poderão ajudá-lo a resolver problemas de física.

## Ícones Usados Neste Livro



Você vai encontrar ícones neste livro e a seguir está o que eles significam:

Este ícone indica alguma coisa que deve ser lembrada, como uma lei da Física ou uma equação particularmente importante.



As Dicas oferecem formas de pensar nos conceitos da Física que poderão ajudá-lo a entender melhor um tópico. Elas também poderão lhe dar dicas e mostrar pequenos truques para resolver problemas.



Este ícone indica que aquele parágrafo trata sobre detalhes técnicos, informações profissionais. Você não precisa ler, mas se quiser se tornar um profissional em Física (e quem não quer?), dê uma olhada.

## De Lá para Cá, Daqui para Lá

Neste livro, é possível começar uma leitura em qualquer lugar. Você pode começar com eletricidade ou ondas luminosas, ou mesmo relatividade. Mas se quiser a história completa, comece pelo Capítulo I, que está logo adiante. Boa leitura!

Caso não se sinta confortável com o nível de física que adquiriu em Física I, consulte um texto de Física I. Eu recomendo, seguramente, *Física Para Leigos*<sup>®</sup>.



# Parte I

# Entendendo os Fundamentos da Física

**A 5ª Onda**

Por Rich Tennant



*“Este é meu antigo professor de física, Mr. Wendt, sua esposa, Doris, e seus dois filhos, Campo Elétrico e Magnetismo.*

## *Nesta parte...*

**N**esta parte, você se certificará de que está atualizado sobre as habilidades de que precisa para Física II. Você começará com uma visão geral dos assuntos que abordo neste livro. Também fará uma breve revisão de Física I, para ter a certeza de que tem uma boa base em matemática, medidas e nas principais ideias da Física básica.

# Capítulo 1

## Entendendo Seu Mundo: Física II, a Sequência

### *Neste Capítulo*

- ▶ Considerando a eletricidade e o magnetismo
- ▶ Estude as ondas sonoras e luminosas
- ▶ Explore a relatividade, radioatividade e outras físicas modernas

**A** Física certamente não é um estudo esotérico presidido por guardiães que o obrigam a fazer testes sem outro motivo aparente que não seja a crueldade, embora, às vezes, possa parecer que seja essa a intenção. A Física é o estudo humano do *seu* mundo. Assim, não pense na física como alguma coisa que existe apenas em livros e nas cabeças de professores, deixando todas as outras pessoas de fora.

A Física é simplesmente o resultado de uma mente curiosa observando a natureza. E isso é algo que qualquer um pode compartilhar. As perguntas — o que é a luz?, Por que os ímãs atraem o ferro?, A velocidade da luz é a mais rápida em que se pode viajar? — dizem respeito a qualquer pessoa igualmente. Assim, não deixe a Física amedrontá-lo. Tenha coragem e reivindique sua propriedade sobre o assunto. Caso não entenda alguma coisa, exija que ela seja mais bem explicada para você — não suponha que a falha seja sua. Esse é o estudo humano do mundo natural, e você possui um pedaço disso.

A Física II continua onde a Física I termina. O objetivo deste livro é abordar — e desvendar — os assuntos normalmente abrangidos no segundo semestre de um curso de introdução à Física. Você aprenderá muito sobre eletricidade e magnetismo, ondas luminosas, relatividade (o tipo especial), radioatividade, ondas da matéria e mais. Este capítulo lhe dará uma prévia.

# *Familiarizando-se com a Eletricidade e o Magnetismo*

A eletricidade e o magnetismo estão entrelaçados. Cargas elétricas em movimento (e não cargas inertes, estáticas) dão origem ao magnetismo. Mesmo em imãs em barra, as minúsculas cargas dentro dos átomos do metal provocam o magnetismo. É por isso que você sempre vê esses dois temas ligados nas discussões de Física II. Nesta seção, eu apresento a eletricidade, o magnetismo e os circuitos CA.

## *Estudando as cargas estáticas e campo elétrico*

A eletricidade abrange uma grande parte do seu mundo — ela não atua apenas em relâmpagos e lâmpadas elétricas. A configuração das cargas elétricas em cada átomo forma a base da química. Conforme eu analiso no Capítulo 14, o arranjo dos elétrons dá origem às propriedades químicas da matéria, que nos dão tudo, desde metais que brilham até plásticos que dobram. A configuração dos elétrons determina até mesmo a cor que os materiais refletem quando estão na presença da luz.

Os estudos da eletricidade geralmente começam com cargas elétricas, particularmente a força entre duas cargas. O fato de as cargas se atraírem ou se repelirem é fundamental para o funcionamento da eletricidade e para a estrutura dos átomos que compõem a matéria ao seu redor. No Capítulo 3, você conhecerá a maneira de prever a força exata envolvida e como essa força varia com a distância que separa as duas cargas.

As cargas elétricas também preenchem o espaço ao redor de si mesmas com campo elétrico — um fato familiar a você, se já sentiu os pelos em seu braço se eriçarem quando tira roupas de uma secadora. Os físicos medem o campo elétrico como a força por unidade de carga, e eu lhe mostrarei como calculá-lo a partir das configurações das cargas.

Em seguida, está a ideia de *potencial elétrico*, que você conhece como tensão. A *tensão* é o trabalho realizado por unidade de carga, tomando essa carga entre dois pontos. E, sim, é exatamente esse o tipo de tensão que você vê estampada em baterias.

Com essas três quantidades — força, campo elétrico e tensão — você compreenderá as cargas elétricas estáticas.

## ***Avançando para o magnetismo***

O que acontece quando cargas elétricas começam a se mover? Temos o *magnetismo*, que é o efeito da carga elétrica que está relacionada a, mas diferente de campo elétrico; ele existe apenas quando as cargas estão em movimento. Dê um empurrão em um elétron, mande-o para longe e pronto! Você terá um campo magnético. A ideia de que o movimento de cargas elétricas provoca o magnetismo foi uma grande novidade na física — esse fato não é óbvio quando se trabalha apenas com imãs.

As cargas elétricas em movimento formam uma *corrente*, e várias combinações da corrente elétrica criam diferentes campos magnéticos. Isto é, o campo magnético que você vê a partir de um único fio conduzindo uma corrente é diferente daquele que você vê a partir de um “loop” ou laço da corrente — ainda mais se considerarmos vários laços da corrente, uma combinação conhecida como *solenóide*. Eu vou mostrar-lhe como prever campos magnéticos no Capítulo 4.

Não são as cargas elétricas em movimento dão origem a campos magnéticos, como os campos magnéticos também afetam as cargas elétricas em movimento. Quando uma carga elétrica se move através de um campo magnético, ela sente uma força sobre ela perpendicular ao campo magnético e à direção do movimento. O resultado é que, entregues a si próprias, as cargas em movimento em campos magnéticos uniformes viajam em círculos (uma ideia bem recebida pelos químicos porque isso permite a um espectrômetro de massa determinar a composição química de uma amostra). De que tamanho é o círculo? Como o raio do círculo se relaciona com a velocidade da carga? Ou com a magnitude da carga? Ou com a força do campo magnético? Fique ligado. As respostas a todas essas perguntas estão no Capítulo 4.

## ***Circuitos CA: A regeneração da corrente com campos elétricos e magnéticos***

Muitas vezes, os estudantes entram em contato com circuitos em Física I (você pode saber mais sobre circuitos de corrente simples direta — CD — em *Física para Leigos*). No Capítulo 5, você terá a versão da Física II: Poderá observar o que acontece quando a tensão e a corrente em um circuito flutuam ao longo do tempo de forma periódica, gerando *correntes* e *tensões alternadas*. Também encontrará alguns novos elementos do circuito, o indutor e o capacitor, e verá como eles se comportam em circuitos CA. Muitos dos dispositivos elétricos que as pessoas usam todos os dias dependem desses elementos em correntes alternadas.



Quando estiver lendo sobre indutores, você também encontrará uma das leis fundamentais que relaciona campos elétricos e magnéticos: a lei de Faraday, que explica a maneira como um campo magnético variável induz uma tensão que gera seu próprio campo magnético. Essa lei não se aplica apenas a indutores; ela pode ser aplicada a todos os campos elétricos e magnéticos, onde quer que eles ocorram no Universo!

## ***Viajando nas Ondas***

As ondas constituem um assunto bastante abrangente em Física II. Uma *onda* é uma perturbação oscilante que transporta energia. Se a perturbação for *periódica*, a quantidade de perturbações se repete ao longo do espaço e do tempo por uma distância chamada *comprimento da onda* e um tempo chamado *período*. O Capítulo 6 faz um estudo aprofundado sobre o funcionamento das ondas, de forma que você possa perceber os relacionamentos entre a velocidade da onda, o comprimento da onda e a *frequência* (a taxa na qual os ciclos passam por um ponto específico). No restante dos capítulos, na Parte III deste livro, você vai explorar tipos particulares de ondas, incluindo as eletromagnéticas (como as ondas luminosas e do rádio) e sonoras.

### ***Convivendo com as ondas sonoras***

O som é simplesmente uma onda no ar, e as várias interações das ondas sonoras são apenas o resultado de comportamentos compartilhados por todas elas. Por exemplo, as ondas sonoras podem refletir em uma superfície — deixe as ondas sonoras colidirem com paredes e ouça o eco. As ondas sonoras também interferem em outras ondas, e você pode ouvir os efeitos — ou o silêncio, conforme o caso. Esses dois tipos de interação formam a base para se entender os tons harmônicos na música.

As características de um som, como tom e volume, dependem das propriedades da onda. Você já pode ter observado isso ao ouvir a mudança de tom de uma sirene em um carro de polícia quando ele passa; o tom muda quando a origem do som ou o ouvinte se movem. A isso chamamos *efeito Doppler*. Podemos levar isso ao extremo, ao examinarmos o choque de ondas que acontece quando os objetos se movem muito rapidamente através do ar, quebrando a barreira do som. Essa é a origem da explosão sônica. Isso será abordado no Capítulo 7.

### ***Descobrimo o que é a luz***

A luz é um tema bastante abordado em Física II. Hoje já se sabe como a luz funciona, mas nem sempre foi assim. Imagine a emoção que James Clerk Maxwell deve ter sentido quando a velocidade da luz

pulou de suas equações e ele percebeu que, ao combinar eletricidade e magnetismo, tinha conseguido definir as ondas luminosas. Antes disso, elas eram um mistério — de onde tinham surgido? Como eram capazes de transportar energia?

Depois de Maxwell, tudo isso mudou; os físicos passaram a saber que a luz era composta de oscilações elétricas e magnéticas. No Capítulo 8, você vai acompanhar os passos de Maxwell até chegar a esse resultado surpreendente. Aí você saberá como calcular a velocidade da luz usando duas constantes completamente diferentes, que têm a ver com a maneira como os campos elétricos e magnéticos podem penetrar no espaço vazio.

Sendo uma onda, a luz transporta energia enquanto viaja, e os físicos sabem como calcular a quantidade de energia que ela pode carregar. Essa quantidade de energia está ligada às magnitudes dos componentes elétricos e magnéticos da onda. Você terá uma noção da quantidade de energia que essa luz de determinada intensidade pode transportar no Capítulo 8.

Evidentemente, a luz é apenas a parte visível do *espectro eletromagnético* — e uma pequena parte, melhor dizendo. Existem todos os tipos de radiação eletromagnética, classificadas pela frequência das ondas: raios X, infravermelho, luz ultravioleta, ondas de rádio, micro-ondas, e até as ondas gama ultrapotentes.

## ***Reflexão e refração: Fazendo a luz saltar e curvar***

A interação da luz com a matéria é uma coisa interessante. Por exemplo, quando a luz interage com materiais, um pouco da luz é absorvida e um pouco refletida. Esse processo dá origem a tudo que vemos ao nosso redor no mundo cotidiano.

A luz refletida obedece a determinadas regras. Principalmente o ângulo de incidência de um raio de luz — isto é, o ângulo no qual a luz atinge a superfície (medido a partir de uma linha reta saindo dessa superfície) — deve ser igual ao ângulo de reflexão — o ângulo em que a luz deixa a superfície. Saber a maneira como a luz retorna em direção à região de onde é oriunda é essencial para todos os tipos de dispositivos, desde periscópios nos submarinos, até telescópios, fibras óticas e os refletores que os astronautas da Apollo colocaram na Lua. O Capítulo 10 aborda as regras da reflexão.

Obviamente, a luz também pode viajar através de materiais (ou as pessoas não teriam janelas, óculos de sol, vitrais e outras coisas mais). Quando a luz penetra em um material a partir de outro, ela se curva — processo conhecido como *refração*, que é um tema abrangente no Capítulo 9. O quanto a luz se curva depende dos materiais envolvidos, conforme medido pelos seus índices de refração. Uma coisa útil para se saber em todos os tipos de situação. Por exemplo, quando

os fabricantes de lentes entendem como a luz se curva quando penetra e sai de um pedaço de vidro, eles podem moldar o vidro para produzir imagens. A seguir, você vai olhar através de lentes.

## ***Buscando imagens: Lentes e espelhos***

Caso você esteja ansioso para observar as aplicações práticas dos assuntos da Física II, provavelmente você gosta de ótica. Nela, você trabalha com lentes e espelhos, permitindo-lhe explorar o funcionamento de telescópios, câmeras e mais.

### ***Concentrando-se nas lentes***

As lentes podem convergir ou divergir a luz. Nos dois casos, você obterá uma imagem (direita, invertida, maior ou menor do que o objeto). A imagem pode ser real ou virtual. Em uma *imagem real*, os raios da luz são convergentes, de forma que podemos colocar uma tela no local da imagem e enxergá-la na tela (como nos filmes). Uma *imagem virtual* é uma imagem a partir da qual a luz parece divergir, como a imagem em uma lupa.

Equipado com um pouco de física, você terá a situação das lentes completamente sob controle. Caso tenha aptidão visual, você poderá encontrar informações sobre imagens usando suas habilidades com desenho. Eu explico como desenhar diagramas de raios, que mostram como a luz passa através de uma lente, no Capítulo 9.

Você também pode usar números em relação a luz passando através de lentes. A equação da lente fina lhe fornecerá tudo que precisa saber aqui sobre objetos e imagens, e poderá até mesmo deduzir a ampliação de lentes a partir daquela equação. Assim, dada uma determinada lente e um objeto a certa distância, você poderá prever exatamente onde a imagem aparecerá e qual tamanho terá (e se estará invertida ou não).

Se uma lente é boa, por que não experimentar duas? Ou mais? Afinal, essa é a ideia por trás de microscópios e telescópios. Você saberá mais sobre esses instrumentos óticos no Capítulo 9, e, se quiser, poderá desenhar microscópios e telescópios rapidamente.

### ***Tudo sobre espelhos/sohleypse erbos odut***

Também podemos utilizar números ao observar a maneira como os espelhos refletem a luz, sejam eles planos ou curvos. Por exemplo, se você souber a curvatura de um espelho e onde um objeto se encontra em relação a ele, você poderá prever exatamente onde a imagem do objeto aparecerá.

De fato, você será capaz de fazer mais do que isso — poderá calcular se a imagem será perpendicular ou invertida. Também poderá calcular sua altura exata comparada ao objeto original. Poderá até mesmo calcular se a imagem será real (na frente do espelho) ou virtual (atrás do espelho). Eu trato de espelhos no Capítulo 10.

## ***Chamando a interferência: Quando a luz colide com a luz***

Não só podem os raios de luz interagir com a matéria, mas também interagir com outros raios de luz. Isso não deveria soar muito absurdo — afinal, a luz é composta de componentes elétricos e magnéticos, e esses componentes são os que interagem com os campos magnéticos na matéria. Dessa forma, por que esses componentes não poderiam interagir com componentes elétricos e magnéticos de outros raios de luz?

Quando o componente elétrico de um raio de luz está no seu máximo e encontra um raio de luz com seu componente elétrico no seu mínimo, os dois componentes se anulam. Por outro lado, caso os dois raios de luz se encontrem exatamente onde os componentes elétricos estejam no máximo, eles se somam. O resultado é que quando a luz colide com a luz, poderão ocorrer padrões de *difração* — combinações de luz e faixas escuras, dependendo se o resultado está em um máximo ou mínimo. No Capítulo 11, você aprenderá a calcular a aparência dos padrões de difração para uma variedade de diferentes fontes de luz, e todas comprovadas por experiências.

## ***Ampliando com a Física Moderna***

O século XX assistiu a uma explosão de temas relacionados à Física, e, coletivamente, eles foram chamados de Física Moderna. Algumas ideias revolucionárias — como a Mecânica Quântica e a Teoria da Relatividade Especial de Einstein — mudaram os fundamentos de como os físicos viam o Universo; a mecânica de Isaac Newton nem sempre se aplicava. À medida que os físicos se aprofundaram no funcionamento do mundo, eles encontraram ideias cada vez mais poderosas, que lhes permitiram descrevê-lo de forma exponencialmente maior. Isso levou a desenvolvimentos na tecnologia que conduziram a experimentos que poderiam sondar o Universo de forma cada vez mais minuciosa (ou expansiva).

A maioria das pessoas já ouviu falar da relatividade e da radioatividade, mas você pode não estar familiarizado com outros tópicos, como *ondas da matéria* (o fato de que quando a matéria viaja, ela exibe muitas propriedades parecidas com ondas, assim como a luz) ou *radiação do corpo negro* (o estudo que mostra como objetos quentes emitem luz). Eu lhe apresento algumas dessas ideias da Física Moderna nesta seção.

## ***Iluminando os corpos negros: Corpos quentes produzem sua própria luz***

Se você já viu uma lâmpada incandescente funcionando (ou se já olhou para o Sol), já sabe que as coisas quentes emitem luz. De fato, qualquer corpo, com um pouco de calor que seja, emite ondas eletromagnéticas, como a luz.