

Respostas

dos Testes (T) e das Perguntas (P) e Problemas Ímpares (PR)

Capítulo 33

T 1. (a) (Use a Fig. 33-5). Do lado direito do retângulo, $\vec{E}$ aponta no sentido negativo do eixo y ; do lado esquerdo, $\vec{E} + d\vec{E}$ é maior e aponta no mesmo sentido; (b) $\vec{E}$ aponta para baixo. Do lado direito, $\vec{B}$ aponta no sentido negativo do eixo z ; do lado esquerdo, $\vec{B} + d\vec{B}$ é maior e aponta no mesmo sentido. 2. sentido positivo de x 3. (a) permanece constante; (b) diminui 4. a, d, b , c (zero) 5. a **P** 1. (a) sentido positivo do eixo z ; (b) x 3. (a) e (b) $A = 1, n = 4, \theta = 30^\circ$ 5. (a) permanece constante; (b) aumenta; (c) diminui 7. a, b, c 9. nenhuma 11. B **PR** 1. (a) 515 nm; (b) 610 nm; (c) 555 nm; (d) $5,41 \times 10^{14}$ Hz; (e) $1,85 \times 10^{-15}$ s 3. 7,49 GHz 5. $5,0 \times 10^{-21}$ H 7. 0,10 MJ 9. (a) 6,7 nT; (b) y ; (c) no sentido negativo do eixo y 11. 1,2 MW/m² 13. (a) 6,7 nT; (b) 5,3 mW/m²; (c) 6,7 W 15. (a) 1,03 kV/m; (b) 3,43 μ T 17. (a) 87 mV/m; (b) 0,29 nT; (c) 6,3 kW 19. $5,9 \times 10^{-8}$ Pa 21. $1,0 \times 10^7$ Pa 25. (a) $1,0 \times 10^8$ Hz; (b) $6,3 \times 10^8$ rad/s; (c) $2,1 \text{ m}^{-1}$; (d) 1,0 μ T; (e) z ; (f) $1,2 \times 10^2$ W/m²; (g) $8,0 \times 10^{-7}$ N; (h) $4,0 \times 10^{-7}$ Pa 27. 1,9 mm/s 29. (a) $4,68 \times 10^{11}$ W; (b) qualquer pequena perturbação tiraria a esfera da posição de equilíbrio, pois nesse caso as duas forças deixariam de atuar ao longo do mesmo eixo 31. (a) 0,17 μ m; (b) para perto do Sol 33. 4,4 W/m² 35. 3,1% 37. (a) 1,9 V/m; (b) $1,7 \times 10^{-11}$ Pa 39. 20° ou 70° 41. 0,67 43. (a) 2 filtros; (b) 5 filtros 45. 1,48 47. 180° 49. 1,26 51. 1,07 m 53. (a) 56,9°; (b) 35,3° 57. 182 cm 59. (a) 26,8°; (b) sim 61. (a) 1,39; (b) 28,1°; (c) não 63. 23,2° 65. (a) 48,9°; (b) 29,0° 67. (a) $(1 + \sin^2 \theta)^{0,5}$; (b) $2^{0,5}$; (c) sim; (d) não 69. 49,0° 71. (c) 137,6°; (d) 139,4°; (e) $1,7^\circ$ 73. 1,22 77. (a) 0,50 ms; (b) 8,4 min; (c) 2,4 h; (d) 5446 a.C. 79. (a) $(16,7 \text{ nT}) \sin[(1,00 \times 10^6 \text{ m}^{-1})z + (3,00 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})t]$; (b) 6,28 μ m; (c) 20,9 fs; (d) 33,2 mW/m²; (e) x ; (f) infravermelho 81. (a) 83 W/m²; (b) 1,7 MW 83. (a) 3,5 μ W/m²; (b) 0,78 μ W; (c) $1,5 \times 10^{-17}$ W/m²; (d) $1,1 \times 10^{-7}$ V/m; (e) 0,25 fT 85. 35° 87. (a) 55,8°; (b) 55,5° 89. (a) o eixo z ; (b) $7,5 \times 10^{14}$ Hz; (c) 1,9 kW/m² 91. (a) branca; (b) avermelhada; (c) não há luz refratada 93. $1,5 \times 10^{-9}$ m/s² 95. 0,034 97. $9,43 \times 10^{-10}$ T 99. (a) $-y$; (b) z ; (c) 1,91 kW/m²; (d) $E_z = (1,20 \text{ kV/m}) \sin[(6,67 \times 10^6 \text{ m}^{-1})y + (2,00 \times 10^{15} \text{ s}^{-1})t]$; (e) 942 nm; (f) infravermelho 101. (a) 1,60; (b) 58,0°

Capítulo 34

T 1. 0,2d, 1,8d, 2,2d 2. (a) real; (b) invertida; (c) do mesmo lado 3. (a) e ; (b) virtual, do mesmo lado 4. virtual, não-invertida, divergente **P** 1. (a) a e c ; (b) três vezes; (c) você 3. (a) a ; (b) c 5. d (infinita), a e b empatadas, c 7. convexo 9. (a) todas, exceto a combinação 2; (b) 1, 3, 4: à direita, invertida; 5, 6: à esquerda, a mesma **PR** 1. 40 cm 3. 1,5 m 5. 351 cm 7. 10,5 cm 9. (a) +36 cm; (b) -36 cm; (c) +3,0; (d) V; (e) NI; (f) O 11. (a) +24 cm; (b) +36 cm; (c) -2,0; (d) R; (e) I; (f) M 13. (a) -16 cm; (b) -4,4 cm; (c) +0,44; (d) V; (e) NI; (f) O 15. (a) -20 cm; (b) -4,4 cm; (c) +0,56; (d) V; (e) NI; (f) O 17. (b) 0,56 cm/s; (c) 11 m/s; (d) 6,7 cm/s 19. (b) positivo; (c) +40 cm; (e) -20 cm; (f) +2,0; (g) V; (h) NI; (i) O 21. (a) convexo; (b) -20 cm; (d) +20 cm; (f) +0,50; (g) V; (h) NI; (i) O 23. (a) côncavo; (c) +40 cm; (e) +60 cm; (f) -2,0; (g) R; (h) I; (i) M 25. (a) convexo; (c) -60 cm; (d) +30 cm; (f) +0,50; (g) V; (h) NI; (i) O 27. (b) -20 cm; (c) negativo; (d) +5,0 cm; (e) negativo; (f) +0,80; (g) V;

(h) NI; (i) O 29. (a) convexo; (b) negativo; (c) -60 cm; (d) +1,2 m; (e) -24/cm; (g) V; (h) NI; (i) O 31. (a) côncavo; (b) +8,6 cm; (c) +17 cm; (e) +12 cm; (f) negativo; (g) R; (i) M 33. (a) 2,00; (b) não 35. (c) -33 cm; (e) V; (f) M 37. (d) -26 cm; (e) V; (f) M 39. (c) +30 cm; (e) V; (f) M 41. (a) 45 mm; (b) 90 mm 43. 1,86 mm 45. 5,0 mm 47. 22 cm 49. (a) +40 cm; (b) ∞ 51. (a) -4,8 cm; (b) +0,60; (c) V; (d) NI; (e) M 53. (a) -48 cm; (b) +4,0; (c) V; (d) NI; (e) M 55. (a) +36 cm; (b) -0,80; (c) R; (d) I; (e) O 57. (a) -8,6 cm; (b) +0,39; (c) V; (d) NI; (e) M 59. (a) -30 cm; (b) +0,86; (c) V; (d) NI; (e) M 61. (a) +55 cm; (b) -0,74; (c) R; (d) I; (e) O 63. (a) +84 cm; (b) -1,4; (c) R; (d) I; (e) O 65. (a) -18 cm; (b) +0,76; (c) V; (d) NI; (e) M 67. (a) -7,5 cm; (b) +0,75; (c) V; (d) NI; (e) M 69. (a) D; (b) -5,3 cm; (d) -4,0 cm; (f) V; (g) NI; (h) M 71. (a) C; (b) positivo; (d) -13 cm; (e) +1,7; (f) V; (g) NI; (h) M 73. (a) C; (d) -10 cm; (e) +2,0; (f) V; (g) NI; (h) M 75. (a) C; (b) +80 cm; (d) -20 cm; (f) V; (g) NI; (h) M 77. (a) C; (b) +3,3 cm; (d) +5,0 cm; (f) R; (g) I; (h) O 79. (a) D; (b) negativo; (d) -3,3 cm; (e) +0,67; (f) V; (g) NI 81. (a) +3,1 cm; (b) -0,31; (c) R; (d) I; (e) O 83. (a) +24 cm; (b) +6,0; (c) R; (d) NI; (e) O 85. (a) -5,5 cm; (b) +0,12; (c) V; (d) NI; (e) M 87. (a) -4,6 cm; (b) +0,69; (c) V; (d) NI; (e) M 89. (a) 13,0 cm; (b) 5,23 cm; (c) -3,25; (d) 3,13; (e) -10,2 91. (a) 3,5; (b) 2,5 93. (a) 2,35 cm; (b) diminuir 95. (a) 3,00 cm; (b) 2,33 cm 97. (a) 6,0 mm; (b) 1,6 kW/m²; (c) 4,0 cm 99. (a) 20 cm; (b) 15 cm 101. 2,2 mm² 107. (a) 40 cm; (b) 20 cm; (c) -40 cm; (d) 40 cm 109. (a) +36 cm; (b) 1,2 cm; (c) real; (d) invertida 111. (a) -50 cm; (b) 5,0; (c) virtual; (d) invertida 113. (a) +8,6 cm; (b) +2,6; (c) R; (d) NI; (e) O 115. (a) +7,5 cm; (b) -0,75; (c) R; (d) I; (e) O 117. (a) +24 cm; (b) -0,58; (c) R; (d) I; (e) O 119. (a) 0,60 m; (b) +0,20; (c) real; (d) à esquerda; (e) não-invertida 125. (a) 8,0 cm; (b) 16 cm; (c) 48 cm 127. (a) $\alpha = 0,500$ rad: 7,799 cm; $\alpha = 0,100$ rad: 8,544 cm; $\alpha = 0,0100$ rad: 8,571 cm; equação do espelho: 8,571 cm; (b) $\alpha = 0,500$ rad: -13,56 cm; $\alpha = 0,100$ rad: -12,05 cm; $\alpha = 0,0100$ rad: -12,00 cm; equação do espelho: -12,00 cm 129. 42 mm 131. (b) P_n 133. (a) $(0,5)(2 - n)r/(n - 1)$; (b) do lado direito 135. 2,67 cm 137. (a) 3,33 cm; (b) à esquerda; (c) virtual; (d) não-invertida

Capítulo 35

T 1. b (menor valor de n), c, a 2. (a) o de cima; (b) um ponto claro (a diferença de fase é 2,1 comprimentos de onda) 3. (a) 3λ , 3; (b) 2,5 λ , 2,5 4. a e d empatados (a amplitude da onda resultante é $4E_0$), depois b e c empatados (a amplitude da onda resultante é $2E_0$) 5. (a) 1 e 4; (b) 1 e 4 **P** 1. (a) 2d; (b) (número ímpar) $\lambda/2$; (c) $\lambda/4$ 3. (a) pico; (b) vale 5. (a) diminui; (b) diminui; (c) diminui; (d) mais distante 7. (a) estado intermediário próximo de um máximo, $m = 2$; (b) mínimo, $m = 3$; (c) estado intermediário próximo de um máximo, $m = 2$; (d) máximo, $m = 1$ 9. (a) máximo; (b) mínimo; (c) se alternam 11. c, d **PR** 1. 1,56 3. $4,55 \times 10^7$ m/s 5. (a) 3,60 μ m; (b) mais próxima de construtiva 7. (a) 155 nm; (b) 310 nm 9. (a) 1,70; (b) 1,70; (c) 1,30; (d) todas empatadas 11. (a) 1,55 μ m; (b) 4,65 μ m 13. (a) 0,833; (b) mais próxima da construtiva 15. 16 17. 648 nm 19. 2,25 nm 21. 0 23. 7,88 μ m 25. 72 μ m 27. 6,64 μ m 29. 2,65 31. $(17,1 \mu\text{V/m}) \sin[(2,0 \times 10^{14} \text{ rad/s})t]$ 33. 27 $\sin(\omega t + 8,5^\circ)$ 35. 70,0 nm 37. (a) 0,117 μ m; (b) 0,352 μ m 39.

120 nm 41. 509 nm 43. 478 nm 45. 560 nm 47. 409 nm 49. 161 nm 51. 273 nm 53. (a) 552 nm; (b) 442 nm 55. 338 nm 57. 329 nm 59. 248 nm 61. 339 nm 63. 528 nm 65. 455 nm 67. 608 nm 69. 1,89 μm 71. 140 73. 0,012°
 75. $[(m + 1/2)\lambda R]^{0.5}$ para $m = 0, 1, 2, \dots$ 77. 1,00 m 79. 588 nm 81. 1,00030 83. (a) 22°; (b) a refração reduz o valor de θ 85. (a) 50,0 nm; (b) 36,2 nm 87. $x = (D/2a)(m + 0,5)\lambda$ para $m = 0, 1, 2, \dots$ 89. 0,23° 91. 450 nm 93. (a) 1,75 μm ; (b) 4,8 nm 95. 33 μm 97. (a) 1500 nm; (b) 2250 nm; (c) 0,80 99. 600 nm 101. (a) 88%; (b) 94% 103. $I_m \cos^2(2\pi x/\lambda)$ 105. 8,0 μm 107. (a) 1,80 μm ; (b) 9 109. 51,6 ns 111. (a) 1,6 rad; (b) 0,79 rad 113. (a) escura; (b) escura; (c) 4 115. (a) 1; (b) 4,0 fs; (c) 7,5 117. (a) 48,6°; (b) se afasta; (c) 1,49 m 119. (a) 42,0 ps; (b) 42,3 ps; (c) 43,2 ps; (d) 41,8 ps; (e) 4 121. $I_0[1 + 8 \cos^2(\phi/2)]$ com $\phi = (2\pi d/\lambda) \sin \theta$

Capítulo 36

T 1. (a) se dilata; (b) se dilata 2. (a) o segundo máximo secundário; (b) 2,5 3. (a) vermelha; (b) violeta 4. mais difícil 5. (a) esquerdo; (b) menores **P** 1. (a) A, B, C; (b) A, B, C 3. (a) 1 e 3 empatados, depois 3 e 4 empatados; (b) 1 e 2 empatados, depois 3 e 4 empatados 5. (a) o mínimo correspondente a $m = 5$; (b) o máximo (aproximado) entre os mínimos correspondentes a $m = 4$ e $m = 5$ 7. (a) diminui; (b) permanece constante; (c) permanecem no mesmo lugar 9. (a) maiores; (b) vermelha 11. (a) A; (b) o da esquerda; (c) à esquerda; (d) à direita **PR** 1. (a) 700 nm; (b) 4; (c) 6 3. 60,4 μm 5. (a) 70 cm; (b) 1,0 mm 7. (a) 2,5 mm; (b) $2,2 \times 10^{-4}$ rad 9. 1,77 mm 11. (a) 0,18°; (b) 0,46 rad; (c) 0,93 13. 160° 15. (b) 0; (c) -0,500; (d) 4,493 rad; (e) 0,930; (f) 7,725 rad; (g) 1,96 17. (d) 52,5°; (e) 10,1°; (f) 5,06° 19. $1,6 \times 10^3$ km 21. (a) $1,3 \times 10^{-4}$ rad; (b) 10 km 23. 50 m 25. (a) $1,1 \times 10^4$ km; (b) 11 km 27. (a) 19 cm; (b) maior 29. (a) 0,346°; (b) 0,97° 31. (a) 17,1 m; (b) $1,37 \times 10^{-10}$ 33. (a) $8,8 \times 10^{-7}$ rad; (b) $8,4 \times 10^7$ km; (c) 0,025 mm 35. 3 37. 5 39. (a) 9; (b) 0,255 41. (a) 5,0 μm ; (b) 20 μm 43. (a) $7,43 \times 10^{-3}$; (b) entre o mínimo correspondente a $m = 6$ (o sétimo) e o máximo correspondente a $m = 7$ (o sétimo máximo secundário); (c) entre o mínimo correspondente a $m = 3$ (o terceiro) e o mínimo correspondente a $m = 4$ (o quarto) 45. 3 47. (a) 62,1°; (b) 45,0°; (c) 32,0° 49. (a) 2,1°; (b) 21°; (c) 11 51. (a) 6,0 μm ; (b) 1,5 μm ; (c) 9; (d) 7; (e) 6 53. $1,09 \times 10^3$ ranhuras/mm 55. (a) 470 nm; (b) 560 nm 57. 0,15 nm 59. (a) 0,032°/nm; (b) $4,0 \times 10^4$; (c) 0,076°/nm; (d) $8,0 \times 10^4$; (e) 0,24°/nm; (f) $1,2 \times 10^5$ 61. $3,65 \times 10^3$ 63. (a) 10 μm ; (b) 3,3 mm 65. (a) 25 pm; (b) 38 pm 67. 0,26 nm 69. (a) 0,17 nm; (b) 0,13 nm 71. (a) 0,7071 a_0 ; (b) 0,4472 a_0 ; (c) 0,3162 a_0 ; (d) 0,2774 a_0 ; (e) 0,2425 a_0 73. (a) 15,3°; (b) 30,6°; (c) 3,1°; (d) 37,8° 75. 4,7 cm 77. (a) 625 nm; (b) 500 nm; (c) 416 nm 79. 3,0 mm 81. (a) 13; (b) 6 83. 59,5 pm 85. 4,9 km 87. $1,36 \times 10^4$ 89. 36 cm 97. 2 99. (a) a quarta; (b) a sétima 103. (a) 2,4 μm ; (b) 0,80 μm ; (c) 2 107. 9

Capítulo 37

T 1. (a) igual (postulados da velocidade da luz); (b) não (o ponto inicial e o ponto final da medida não coincidem); (c) não (porque o tempo medido pelo passageiro não é um tempo próprio) 2. (a) a Eq. 2; (b) +0,90c; (c) 25 ns; (d) -7,0 m 3. (a) para a direita; (b) maior 4. (a) igual; (b) menor **P** 1. (a) C'_1 ; (b) C'_2 ; 3. (a) 4 s; (b) 3 s; (c) 5 s; (d) 4 s; (e) 10 s 5. c 7. b 9. (a) 3, 1 e 2 empatados, 4; (b) 4, 1 e 2 empatados, 3; (c) 1, 4, 2, 3 11. (a) 3, 4 e 6 empatados, depois 1, 2 e 5 empatados; (b) 1, 2 e 3 empatados, 4, 5 e 6 empatados; (c) 1, 2, 3, 4, 5, 6; (d) 2 e 4; (e) 1, 2, 5 **PR** 1. 0,990 50 3. 0,446 ps 5. $2,68 \times 10^3$ anos 7.

(a) 0,999 999 50 9. 1,32 m 11. (a) 87,4 m; (b) 394 ns 13. (a) 0,999 999 15; (b) 30 anos-luz 15. (a) 26,26 anos; (b) 52,26 anos; (c) 3,705 anos 17. (a) 25,8 μs ; (b) o pequeno clarão 19. (a) 138 km; (b) -374 μs 21. (a) 1,25; (b) 0,800 μs 23. (a) 0,480; (b) negativo; (c) o grande clarão; (d) 4,39 μs 25. (a) $\gamma[1,00 \mu\text{s} - \beta(400 \text{ m})/(2,998 \times 10^8 \text{ m/s})]$; (d) 0,750; (e) $0 < \beta < 0,750$; (f) $0,750 < \beta < 1$; (g) não 27. (a) 0,35; (b) 0,62 29. 0,81c 31. (a) 1,25 anos; (b) 1,60 anos; (c) 4,00 anos 33. 1,2 μs 35. 0,13c 37. 22,9 MHz 39. (a) 550 nm; (b) amarela 41. (a) 1,0 keV; (b) 1,1 MeV 43. (a) 196,695; (b) 0,999 987 45. 2,83mc 47. (a) 0,222 cm; (b) 701 ps; (c) 7,40 ps 49. (a) 0,707; (b) 1,41; (c) 0,414 51. 18 ums/ano 53. $1,01 \times 10^7$ km 55. (a) $\gamma(2\pi m u/qB)$; (b) não; (c) 4,85 mm; (d) 15,9 mm; (e) 16,3 ps; (f) 0,334 ns 57. 110 km 59. (a) 2,08 MeV; (b) -1,21 MeV 61. (a) $vt \sin \theta$; (b) $t[1 - (v/c) \cos \theta]$; (c) 3,24c 63. (d) 0,801 65. (a) 1,93 m; (b) 6,00 m; (c) 13,6 ns; (d) 13,6 ns; (e) 0,379 m; (f) 30,5 m; (g) -101 ns; (h) não; (i) 2; (k) não; (l) ambos 69. (b) +0,44c 71. $8,7 \times 10^{-3}$ anos-luz 73. 2,46 MeV/c 75. 189 MeV 77. (a) $5,4 \times 10^4$ km/h; (b) $6,3 \times 10^{-10}$ 79. 0,27c 81. (a) 5,71 GeV; (b) 6,65 GeV; (c) 6,58 GeV/c; (d) 3,11 MeV; (e) 3,62 MeV; (f) 3,59 MeV/c 83. (a) 256 kV; (b) 0,745c 85. 7 87. 0,95c

Capítulo 38

T 1. b, a, d, c 2. (a) lítio, sódio, potássio, cézio; (b) todos empatados 3. (a) são iguais; (b), (c), (d) raios X 4. (a) o próton; (b) são iguais; (c) o próton 5. igual **P** 1. é maior para o alvo de potássio 3. só depende de e 5. (a) maior; (b) menor 7. (a) é dividido por $\sqrt{2}$; (b) é dividido por 2 9. 0 11. elétron, nêutron, partícula alfa 13. todas empatadas 15. porque a amplitude da onda refletida é menor que a da onda incidente **PR** 1. $1,0 \times 10^{45}$ fótons/s 3. 2,047 eV 5. (a) 2,1 μm ; (b) infravermelho 7. (a) a infravermelha; (b) $1,4 \times 10^{21}$ fótons/s 9. $4,7 \times 10^{26}$ fótons 11. (a) $2,96 \times 10^{20}$ fótons/s; (b) $4,86 \times 10^7$ m; (c) $5,89 \times 10^{18}$ fótons/m² · s 13. $1,1 \times 10^{-10}$ W 15. 676 km/s 17. 170 nm 19. (a) 382 nm; (b) 1,82 eV 21. (a) 2,00 eV; (b) 0; (c) 2,00 V; (d) 295 nm 23. (a) 1,3 V; (b) $6,8 \times 10^2$ km/s 25. (a) 3,1 keV; (b) 14 keV 27. (a) $8,57 \times 10^{18}$ Hz; (b) $3,55 \times 10^4$ eV; (c) 35,4 keV/c 29. (a) 2,73 pm; (b) 6,05 pm 31. (a) $-8,1 \times 10^{-9}\%$; (b) $-4,9 \times 10^{-4}\%$; (c) -8,9%; (d) -66% 33. (a) 2,43 pm; (b) 1,32 fm; (c) 0,511 MeV; (d) 939 MeV 35. (a) 2,43pm; (b) $4,11 \times 10^{-6}$; (c) $-8,67 \times 10^{-6}$ eV; (d) 2,43 pm; (e) $9,78 \times 10^{-2}$; (f) -4,45 keV 37. 300% 39. (a) 41,8 keV; (b) 8,2 keV 41. 44° 43. 7,75 pm 45. (a) 1,24 μm ; (b) 1,22 nm; (c) 1,24 fm; (d) 1,24 fm 47. (a) $1,9 \times 10^{-21}$ kg · m/s; (b) 346 fm 49. 4,3 μeV 51. nêutron 53. (a) 15 keV; (b) 120 keV 55. (a) $3,96 \times 10^6$ m/s; (b) 81,7 kV 63. $2,1 \times 10^{-24}$ kg · m/s 67. (a) -20%; (b) -10%; (c) +15% 69. (a) $9,02 \times 10^{-6}$; (b) 3,0 MeV; (c) 3,0 MeV; (d) $7,33 \times 10^{-8}$; (e) 3,0 MeV; (f) 3,0 MeV 73. (a) 73 pm; (b) 3,4 nm; (c) sim, porque o comprimento de onda média de de Broglie é menor que a distância média entre eles 75. 5,9 μeV 77. $1,7 \times 10^{-35}$ m 79. 0,19 m

Capítulo 39

T 1. b, a, c 2. (a) todos empatados; (b) a, b, c 3. a, b, c, d 4. $E_{1,1}$ (n_x e n_y não podem ser zero) 5. (a) 5; (b) 7 **P** 1. (a) 18; (b) 17 3. a, c, b 5. c 7. igual 9. b, c, d 11. $n = 1, n = 2, n = 3$ 13. (a) diminui; (b) aumenta 15. (a) $n = 3$; (b) $n = 1$; (c) $n = 5$ **PR** 1. 0,65 eV 3. 0,85 nm 5. 1,9 GeV 7. 1,41 9. (a) 13; (b) 12 11. (a) 72,2 eV; (b) 13,7 nm; (c) 17,2 nm; (d) 68,7 nm; (e) 41,2 nm; (g) 68,7 nm; (h) 25,8 nm 13. (a) 0,050; (b) 0,10; (c) 0,0095 15. (a) 0,020; (b) 20 17. 56 eV 21. 109 eV 23. 3,21 eV 25. (a) 8; (b) 0,75; (c) 1,00; (d) 1,25; (e)

3,75; (f) 3,00; (g) 2,25 27. (a) 7; (b) 1,00; (c) 2,00; (d) 3,00; (e) 9,00; (f) 8,00; (g) 6,00 29. $1,4 \times 10^{-3}$ 31. (a) 291 nm^{-3} ; (b) $10,2 \text{ nm}^{-1}$ 35. (a) 12,1 eV; (b) $6,45 \times 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$; (c) 102 nm 37. 4,0 39. (a) 13,6 eV; (b) 3,40 eV 41. 0,68 45. (a) 13,6 eV; (b) -27,2 eV 49. (a) $(r^4/8a^5)[\exp(-r/a)] \cos^2 \theta$; (b) $(r^4/16a^5)[\exp(-r/a)] \sin^2 \theta$ 51. (a) 0,0037; (b) 0,0054 53. $4,3 \times 10^3$ 57. (b) $(2\pi/h)[2m(U_0 - E)]^{0,5}$ 59. (a) n ; (b) $2\ell + 1$; (c) n^2 63. (b) $\text{metro}^{-2,5}$

Capítulo 40

T 1.7 2. (a) diminui; (b), (c) permanece constante 3. A, C, B P 1.2; -1,0 e 1 3. o mesmo número (10) 5. (a) 2; (b) 8; (c) 5; (d) 50 7. são todas verdadeiras 9. (a) n ; (b) $n \in \ell$ 11. Além da energia quantizada, o átomo de hélio possui energia cinética; a energia total pode ser igual a 20,66 eV. 13. (a) 2; (b) 3 PR 1. (a) 4; (b) 5; (c) 2 3. (a) 3; (b) 3 5. (a) $3,65 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; (b) $3,16 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 7. $24,1^\circ$ 11. (a) 3,46; (b) 3,46; (c) 3; (d) 3; (e) -3; (f) $30,0^\circ$; (g) $54,7^\circ$; (h) 150° 13. (a) $54,7^\circ$; (b) 125° 15. 72 km/s^2 17. $5,35 \text{ cm}$ 19. 19 mT 21. 44 23. (a) 51; (b) 53; (c) 56 25. 42 27. g 29. (a) $4p$; (b) 4; (c) $4p$; (d) 5; (e) $4p$; (f) 6 31. (a) $(2, 0, 0, +1/2)$, $(2, 0, 0, -1/2)$; (b) $(2, 1, 1, +1/2)$, $(2, 1, 1, -1/2)$, $(2, 1, 0, +1/2)$, $(2, 1, 0, -1/2)$, $(2, 1, -1, +1/2)$, $(2, 1, -1, -1/2)$ 33. $12,4 \text{ kV}$ 35. (a) $49,6 \text{ pm}$; (b) $99,2 \text{ pm}$ 37. (a) $35,4 \text{ pm}$; (b) $56,5 \text{ pm}$; (c) $49,6 \text{ pm}$ 41. 0,563 43. $80,3 \text{ pm}$ 45. (a) $69,5 \text{ kV}$; (b) $17,8 \text{ pm}$; (c) $21,3 \text{ pm}$; (d) $18,5 \text{ pm}$ 47. (a) $3,60 \text{ mm}$; (b) $5,24 \times 10^{17}$ 49. $9,0 \times 10^{-7}$ 51. $7,3 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$ 53. 2×10^7 55. $2,0 \times 10^{16} \text{ s}^{-1}$ 57. $3,0 \text{ eV}$ 59. (a) $3,03 \times 10^5$; (b) 1,43 GHz; (d) $3,31 \times 10^{-6}$ 61. (a) 0; (b) 68 J 63. (a) $2,13 \text{ MeV}$; (b) 18 T 65. (a) não; (b) 140 nm 67. 186 71. (a) 6,0; (b) $3,2 \times 10^6$ anos 73. argônio 77. $n > 3$; $m_\ell = +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3$; $m_s = +1/2, -1/2$

Capítulo 41

T 1. (a) maior; (b) igual 2. a, b e c P 1. menor 3. aumenta 5. 8 7. muito menor 9. b, c, d (a última devido à dilatação térmica) 11. b e d PR 1. (a) 0; (b) 0,0955 3. (b) $6,81 \times 10^{27} \text{ m}^{-3} \text{eV}^{-3/2}$; (c) $1,52 \times 10^{28} \text{ m}^{-3} \text{eV}^{-1}$ 5. $8,49 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ 9. (a) $6,81 \text{ eV}$; (b) $1,77 \times 10^{28} \text{ m}^{-3} \text{eV}^{-1}$; (c) $1,59 \times 10^{28} \text{ m}^{-3} \text{eV}^{-1}$ 11. (a) $2,50 \times 10^3 \text{ K}$; (b) $5,30 \times 10^3 \text{ K}$ 13. (a) 1,0; (b) 0,99; (c) 0,50; (d) 0,014; (e) $2,4 \times 10^{-17}$; (f) $7,0 \times 10^2 \text{ K}$ 15. (a) $1,36 \times 10^{28} \text{ m}^{-3} \text{eV}^{-1}$; (b) $1,68 \times 10^{28} \text{ m}^{-3} \text{eV}^{-1}$; (c) $9,01 \times 10^{27} \text{ m}^{-3} \text{eV}^{-1}$; (d) $9,56 \times 10^{26} \text{ m}^{-3} \text{eV}^{-1}$; (e) $1,71 \times 10^{18} \text{ m}^{-3} \text{eV}^{-1}$ 17. (a) $5,86 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$; (b) $5,49 \text{ eV}$; (c) $1,39 \times 10^3 \text{ km/s}$; (d) $0,522 \text{ nm}$ 19. 3 23. $57,1 \text{ kJ}$ 25. (a) $1,31 \times 10^{29} \text{ m}^{-3}$; (b) $9,43 \text{ eV}$; (c) $1,82 \times 10^3 \text{ km/s}$; (d) $0,40 \text{ nm}$ 27. (a) 0,0055; (b) 0,018 29. (a) $19,7 \text{ kJ}$; (b) 197 s 31. (a) 226 nm ; (b) ultravioleta 33. (a) $1,5 \times 10^{-6}$; (b) $1,5 \times 10^{-6}$ 35. (a) $4,79 \times 10^{-10}$; (b) 0,0140; (c) 0,824 37. $0,22 \mu\text{g}$ 39. $6,0 \times 10^5$ 41. $4,20 \text{ eV}$ 43. $13 \mu\text{m}$ 45. (a) $109,5^\circ$; (b) 238 pm 47. (b) $1,8 \times 10^{28} \text{ m}^{-3} \text{eV}^{-1}$ 51. $3,49 \times 10^3 \text{ atm}$

Capítulo 42

T 1. ^{90}As e ^{158}Nd 2. um pouco maior que 75 Bq (o tempo transcorrido é um pouco menor que três meias-vidas) 3. ^{206}Pb P 1. (a) menor; (b) maior 3. ^{240}U 5. (a) ^{196}Pt ; (b) não 7. sim 9. sim 11. permanece a mesma 13. d 15. (a)

todos, exceto ^{198}Au ; (b) ^{132}Sn e ^{208}Pb PR 1. $1,3 \times 10^{13} \text{ m}$ 3. (a) $0,390 \text{ MeV}$; (b) $4,61 \text{ MeV}$ 5. $46,6 \text{ fm}$ 7. (a) 6; (b) 8 9. 13 km 11. (a) $2,3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$; (b) $2,3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$; (d) $1,0 \times 10^{25} \text{ C/m}^3$; (e) $8,8 \times 10^{24} \text{ C/m}^3$ 13. (a) $6,2 \text{ fm}$; (b) sim 15. (a) $9,303\%$; (b) $11,71\%$ 19. (b) $7,92 \text{ MeV/núcleon}$ 23. $1,0087 \text{ u}$ 25. (a) $7,5 \times 10^{16} \text{ s}^{-1}$; (b) $4,9 \times 10^{16} \text{ s}^{-1}$ 27. (a) $64,2 \text{ h}$; (b) 0,125; (c) 0,0749 29. (a) 0,250; (b) 0,125 31. $5,3 \times 10^{22}$ 33. $9,0 \times 10^8 \text{ Bq}$ 35. (a) $2,0 \times 10^{20}$; (b) $2,8 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$ 37. (a) $3,2 \times 10^{12} \text{ Bq}$; (b) 86 Ci 39. $1,12 \times 10^{11} \text{ anos}$ 41. 265 mg 45. (a) $8,88 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$; (b) $1,19 \times 10^{15}$; (c) $0,111 \mu\text{g}$ 47. $1 \times 10^{13} \text{ átomos}$ 49. (a) $1,2 \times 10^{-17}$; (b) 0 51. $4,269 \text{ MeV}$ 53. $0,783 \text{ MeV}$ 55. $1,21 \text{ MeV}$ 57. (b) $0,961 \text{ MeV}$ 59. $78,3 \text{ eV}$ 61. (a) $1,06 \times 10^{19}$; (b) $0,624 \times 10^{19}$; (c) $1,68 \times 10^{19}$; (d) $2,97 \times 10^9 \text{ anos}$ 63. $1,7 \text{ mg}$ 65. $2,50 \text{ mSv}$ 67. $1,02 \text{ mg}$ 69. (a) $6,3 \times 10^{18}$; (b) $2,5 \times 10^{11}$; (c) $0,20 \text{ J}$; (d) $2,3 \text{ mGy}$; (e) 30 mSv 71. (a) $6,6 \text{ MeV}$; (b) não 73. (a) $25,4 \text{ MeV}$; (b) $12,8 \text{ MeV}$; (c) $25,0 \text{ MeV}$ 75. 730 cm^2 77. (a) $59,5 \text{ d}$; (b) 1,18 79. ^{225}Ac 81. 13 mJ 83. 30 MeV 85. $3,2 \times 10^4 \text{ anos}$ 87. ^7Li 93. (a) $11,90683 \text{ u}$; (b) $236,2025 \text{ u}$ 95. 27 97. 600 keV

Capítulo 43

T 1. c e d 2. e P 1. ^{140}I , ^{105}Mo , ^{152}Nd , ^{123}In , ^{115}Pd 3. aumenta 5. (a) 101; (b) 42 7. ^{239}Np 9. continua igual a 1 11. menor P 1. $-23,0 \text{ MeV}$ 3. $3,1 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$ 5. (a) $2,6 \times 10^{24}$; (b) $8,2 \times 10^{13} \text{ J}$; (c) $2,6 \times 10^4 \text{ anos}$ 7. (a) 16 d^{-1} ; (b) $4,3 \times 10^8$ 9. $4,8 \text{ MeV}$ 11. $1,3 \times 10^3 \text{ kg}$ 13. (a) ^{153}Nd ; (b) 110 MeV ; (c) 60 MeV ; (d) $1,6 \times 10^7 \text{ m/s}$; (e) $8,7 \times 10^6 \text{ m/s}$ 15. (a) 84 kg ; (b) $1,7 \times 10^{25}$; (c) $1,3 \times 10^{25}$ 17. (a) 251 MeV ; (b) a energia liberada em um evento de fissão típico é 200 MeV 19. 557 W 23. (b) 1,0; (c) 0,89; (d) 0,28; (e) 0,019; (f) 8 25. $0,99938$ 27. (a) 75 kW ; (b) $5,8 \times 10^3 \text{ kg}$ 29. $1,7 \times 10^9 \text{ anos}$ 31. 170 keV 33. $1,41 \text{ MeV}$ 35. (a) $4,3 \times 10^9 \text{ kg/s}$; (b) $3,1 \times 10^{-4}$ 39. 10^{-12} m 41. (a) $1,8 \times 10^{38} \text{ s}^{-1}$; (b) $8,2 \times 10^{28} \text{ s}^{-1}$ 43. (a) $4,1 \text{ eV/átomo}$; (b) $9,0 \text{ MJ/kg}$; (c) $1,5 \times 10^3 \text{ anos}$ 45. $1,6 \times 10^8 \text{ anos}$ 47. (a) $24,9 \text{ MeV}$; (b) $8,65 \text{ megatons}$ 49. $14,4 \text{ kW}$ 51. (a) $3,1 \times 10^{31} \text{ prótons/m}^3$; (b) $1,2 \times 10^6$ 53. $^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} + e + \nu$, $^{239}\text{Np} \rightarrow ^{239}\text{Pu} + e + \nu$

Capítulo 44

T 1. (a) à família dos múons; (b) uma partícula; (c) $L_\mu = +1$ 2. b e e 3. c P 1. (a) 1; (b) positiva 3. d 5. b, c, d 7. a, b, c, d 9. (a) lépton; (b) antipartícula; (c) férmion; (d) sim 11. c PR 1. $2,4 \text{ pm}$ 3. $2,4 \times 10^{-43}$ 5. $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}$ 7. $2,7 \text{ cm/s}$ 9. 769 MeV 11. (a) do momento angular e do número leptônico eletrônico; (b) da carga e do número leptônico muônico; (c) da energia e do número leptônico muônico 13. (a) sim; (b), (c), (d) não 15. (a) 0; (b) -1; (c) 0 17. (a) da energia; (b) da estranheza; (c) da carga 21. (a) K^+ ; (b) $\bar{n}$; (c) K^0 23. (a) Ξ^0 ; (b) Σ^- 25. $s\bar{d}$ 27. (a) $u\bar{u}\bar{d}$; (b) $u\bar{u}\bar{d}$ 29. (a) não é possível; (b) uuu 31. 668 nm 33. $1,4 \times 10^{10} \text{ anos-luz}$ 35. $2,77 \times 10^8 \text{ anos-luz}$ 37. (b) 0,934; (c) $1,28 \times 10^{10} \text{ anos-luz}$ 39. (a) $0,26 \text{ MeV}$; (b) $4,8 \text{ mm}$ 41. (a) 121 m/s ; (b) $0,00406$; (c) 248 anos 43. (a) $2,6 \text{ K}$; (b) 976 nm 47. $1,08 \times 10^{42} \text{ J}$ 49. (a) 0,785c; (b) 0,993c; (c) C2; (d) C1; (e) 51 ns ; (f) 40 ns 51. (c) $ra/c + (ra/c)^2 + (ra/c)^3 + \dots$; (d) ra/c ; (e) $\alpha = H$; (f) $6,5 \times 10^8 \text{ anos-luz}$; (g) $6,9 \times 10^8 \text{ anos}$; (h) $6,5 \times 10^8 \text{ anos}$; (i) $6,9 \times 10^8 \text{ anos-luz}$; (j) $1,0 \times 10^9 \text{ anos-luz}$; (k) $1,1 \times 10^9 \text{ anos}$; (l) $3,9 \times 10^8 \text{ anos-luz}$

Índice

As figuras estão identificadas pelos números das páginas em *itálico*; as tabelas estão indicadas por um t após o número da página

A

aberração
cromática, 60, 74
esférica, 60
abertura circular, figuras de difração, 120-123, 120
absorção de fótons, 187, 247
como forma de onda de os elétrons ganharem energia, 217
em *lasers*, 267
linhas de absorção, 232, 233
mudanças de energia do átomo de hidrogênio, 230
abundância isotópica, 306t
aceleradores de partículas, 360, 361, 361
água
como moderador em reatores nucleares, 342
difração de ondas em um tanque, 81, 81
índice de refração, 18t
pesada, 358
polarização da luz por reflexão, 25
ampliação
angular
da lente de aumento simples, 57
do telescópio refletor, 59, 74, 75
lateral
de espelhos esféricos, 46
de um sistema de duas lentes, 55
do microscópio composto, 58
longitudinal, 74
amplificadores
a válvula, 278, 297
transistorizados, 297
analisador, 15
anéis de Newton, 105, 105
ângulo
crítico para reflexão interna total, 23
de Bragg, 134
de Brewster, 25, 25
de desvio mínimo
e o arco-íris, 35
prisma, 33
de incidência, 17, 18
de refração, 17, 18
semiclássico, 250
aniquilação, 363
elétron-pósitron, 363
partícula-antipartícula, 363
próton-antipróton, 364t, 365
antena, 3, 4
do tipo dipolo elétrico, 3, 4
antibárions, 378
anti-hidrogênio, 363
antimatéria, 364
energia liberada por 1 kg, 336t
antineutrino, 318
antipartículas, 364, 365
formação logo após o big bang, 382
antiprótons, 363
aniquilação próton-antipróton, 364t, 365
descoberta, 389
aproximação da lente delgada, 62
ar, índice de refração nas CNTP, 18t
arco-íris, 1, 20, 20
de Maxwell, 2
e a interferência ótica, 80, 80
primário, 20, 20, 36, 36
e interferência ótica, 80, 80
secundário, 20, 20, 36, 80
terciário, 36
arcos supranumerários, 80, 80
armadilhas
eletrônicas bidimensionais, 226, 227

eletrônicas tridimensionais, 226, 227
retangulares, 257
unidimensionais, 257
armas nucleares, 310
arranjo quase-ordenado, 135
atividade de uma amostra radioativa, 313
átomo(s). *Veja também* elétrons; nêutrons; prótons, 214
absorção e emissão de luz, 247
acitadores, 290
divalente, 282
doadores, 290
experimento
de Einstein-de Haas, 247, 248
de Stern-Gerlach, 252-254, 252
formação após o big bang, 382
interferência de ondas de matéria, 196, 197
ionizados, 232
magnetismo, 247, 247
modelo de Bohr, 228-231, 229
momento angular, 247, 247, 249-251, 250
angular de spin, 250, 250
angular orbital, 249-251, 251
monovalente, 282
propriedades dos, 246-248, 247
ressonância magnética, 254-256, 256
spin do elétron, 248

B

banda
de condução, 287, 287
de energia, 280, 280
de um isolante, 282
de um metal, 282
de um semicondutor, 287
de um sólido cristalino, 280
de valência, 287, 287
proibida, 280
bárions, 363, 369, 387
conservação do número bariônico, 369
e o caminho óctuplo, 372, 372t
e o modelo dos quarks, 374, 378
barras de combustível, 342, 344
barreira
de Coulomb, 348
de energia potencial, 203, 204
de potencial, 203, 204, 340, 340
becquerel, 313
big bang, 378, 381-384, 382
Bohr, Niels, 220, 323, 339
bolhas de sabão, figuras de interferência produzidas por, 90, 93, 93
Boltzmann, Ludwig, 267
bomba
atômica, 310, 335, 341
como espoleta da bomba de hidrogênio, 352
poder explosivo, 356
de hidrogênio (bomba termonuclear), 352, 358
termonuclear, 352
Bose, Satyendra Nath, 362
bósons, 361, 362
bottomness, 371
breakeven no confinamento magnético, 353
Brookhaven National Laboratory, 361, 361
buracos, 263, 288
negros
e quasars, 381
supermaçios, 168
no centro da galáxia M87, 146, 168
portadores em maioria em semicondutores tipo p, 290, 291t

portadores em minoria em semicondutores tipo n, 290, 291t

C

c. *Veja* velocidade da luz
camada(s), 238, 249, 249t
completa, 325
e a tabela periódica, 260
e o espectro característico de raios X, 263
e os níveis de energia de sólidos cristalinos, 280
K, 263, 263, 271
L, 263, 263
M, 263, 263
câmara(s), 57, 70
de bolhas
aniquilação próton-antipróton, 364, 365
rastros de partículas, 199, 199
caminho óctuplo, 361, 372, 372t
campo(s)
de visão
espelhos esféricos, 44
telescópio refrator, 60
elétrico(s)
induzidos por ondas eletromagnéticas, 6-8, 6
luz polarizada, 14, 14
ondas eletromagnéticas, 3
magnéticos
de ondas eletromagnéticas, 3, 3, 4
induzidos por ondas eletromagnéticas, 8, 8
canal n de um MOSFET, 296
captura
eletrônica, 318
ressonante de nêutrons em reatores nucleares, 342
térmica de nêutrons em um reator nuclear, 342
carga
de combustível de um reator nuclear, 344
espacial, 292
carta de núcleos, 306-308, 307
e radioatividade, 319, 320
célula unitária, 133, 133
de metais, isolantes e semicondutores, 279, 279
centro de curvatura
espelhos esféricos, 43, 44
superfícies refratoras esféricas, 49, 70
CERN, 361, 377
anti-hidrogênio, 364
experimentos com feixes de píons, 148
césio, função trabalho, 209
césio-137, 330, 333
charme, 371
chip (circuito integrado), 297, 297
ciclo
do carbono em estrelas, 358
próton-próton (p-p), 349, 350
cintilômetro, 389
circuito(s)
integrados, 278, 297, 297
primário de um reator de água pressurizada, 343, 344
secundário de um reator de água pressurizada, 343, 344
cloreto de sódio
difração de raios X, 133, 133
índice de refração, 18t
cloro, 261
COBE (Cosmic Background Explorer), 383
cobre
célula unitária, 279, 279
coeficiente de temperatura da resistividade, 288

- comparação das propriedades elétricas com as do silício, 280t, 287
 - energia de Fermi, 282, 299
 - níveis de energia, 280, 280
 - resistividade, 288
 - velocidade de Fermi, 282
 - coeficiente
 - de temperatura da resistividade, 279
 - de semicondutores, 288
 - do cobre e do silício, 280t
 - de transmissão para tunelamento, 204
 - coerência, 86
 - colimador, 128, 252
 - combinações neutras de quarks, 378
 - cometas
 - cauda de poeira e cauda de íons, 30, 30
 - emissão estimulada, 275, 276
 - complexo conjugado, 200
 - componente(s)
 - da luz, 19
 - elétrica de uma onda eletromagnética, 4, 4
 - magnética de uma onda eletromagnética, 4, 4
 - paralela da luz não-polarizada, 25
 - perpendicular da luz não-polarizada, 25
 - comprimento
 - de onda
 - de Compton, 193
 - de corte
 - no efeito fotelétrico, 188
 - no espectro contínuo de raios X, 262
 - de de Broglie, 197, 216
 - e índice de refração, 79, 80
 - próprio, 165
 - de repouso, 157
 - do tubo de um microscópio composto, 58
 - próprio, 157
 - concentração
 - de elétrons de condução, 282
 - de portadores de carga, 279
 - em semicondutores, 287
 - no cobre e no silício, 280t
 - condensado de Bose-Einstein, 362, 363
 - condições de contorno, 235
 - condutividade, 283
 - confinamento
 - inercial, 353
 - magnético, 353, 353
 - conservação
 - da estranheza, 371
 - do número bariônico, 369
 - do número leptônico, 368
 - constante
 - de decaimento, 312
 - de desintegração, 312
 - de Hubble, 379
 - de Planck, 197
 - de Rydberg, 231
 - contador(es)
 - de Cerenkov, 389
 - Geiger, 304
 - contração das distâncias, 156-159, 157
 - consequências da transformação de Lorentz, 162
 - coordenadas espaço-temporais, 148
 - cores produzidas por difração, 134, 134
 - corrente
 - de deriva em junções p - n , 293
 - de difusão em junções p - n , 292
 - fotelétrica, 188
 - inversa de saturação, 301
 - Cosmic Background Explorer (COBE), 383
 - cristais
 - difração de ondas de matéria, 197, 198, 199
 - difração de raios X, 133-135, 133
 - Cristo e Seus Discípulos em Emaús*, 333
 - critério
 - de Lawson, 352
 - de Rayleigh, 120, 121
 - cromodinâmica quântica (QCD), 378
 - curie (unidade), 313
 - currais quânticos, 213, 213, 226, 226
 - curvatura do espaço, 383
- D**
- datação
 - com ^{14}C , 321
 - radioativa, 321, 321
 - decaimento
 - alfa, 315-317
 - beta, 317-320, 319
 - e o modelo dos quarks, 375
 - mais, 318, 319
 - menos, 318, 319
 - de elétrons para estados de menor energia, 217
 - radioativo, 306, 312-315, 360
 - alfa, 315-317, 316
 - beta, 317-320, 319, 375
 - de múons, 154
 - e a carta de núclídeos, 319, 320
 - densidade
 - de estados, 284, 284
 - ocupados, 286, 286
 - de probabilidade, 200
 - de elétrons aprisionados, 219-222, 219
 - de tunelamento, 204, 204
 - determinação, 201
 - radial, 234, 234, 238
 - volumétrica, 234, 234, 237, 237, 238
 - derivada parcial, 7
 - desintegração, 306
 - deslocamento
 - de Compton, 191-194, 192
 - de fase por reflexão, 91, 91
 - Doppler em comprimentos de onda, 165
 - para o azul, 166
 - para o vermelho, 166
 - cosmológico, 390, 391
 - desvio cosmológico para o vermelho, 390, 391
 - detectores de partículas, 361, 361
 - deutério, 320
 - água pesada, 358
 - déuteron, 329, 350
 - diagrama(s)
 - de níveis de energia, 216, 216, 258, 259
 - de raios, 47, 47
 - diamante
 - brilho em jóias, 24, 24
 - célula unitária, 279, 279
 - como isolante, 281, 287
 - dielétricos, polarização da luz por reflexão, 25
 - diferença de fase
 - difração de uma fenda, 116
 - efetiva na interferência ótica, 80
 - interferência
 - de dupla fenda, 84, 87, 89
 - em filmes finos, 91
 - ótica, 80
 - interferômetro de Michelson, 97
 - diferença de percurso
 - difração de uma fenda, 114, 114, 116
 - interferência
 - de dupla fenda, 84, 84, 89
 - em filmes finos, 91
 - diferença de potencial de contato, 292
 - difração. *Veja também* interferência, 111-145
 - abertura circular, 120-123, 120
 - comparação com interferência, 125
 - de elétrons, 198, 329
 - de nêutrons, 198
 - de raios X, 133-135, 133
 - e a teoria ondulatoria da luz, 112
 - intensidade em um experimento
 - por duas fendas, 123-125, 124, 125
 - por fenda, 116-120, 117, 118
 - ponto claro de Fresnel, 113, 113
 - por duas fendas, 123-125, 124, 125
 - por planos paralelos, 133-135, 133
 - por uma fenda, 81, 82, 113-116, 112, 113, 114
 - intensidade, 116-120, 117, 118
 - dilatação dos tempos, 153
 - consequências das equações de Lorentz, 162
 - demonstrações experimentais, 154
 - e o efeito Doppler transversal, 166, 166
 - dinheiro, medidas de segurança, 76, 76, 77, 94
 - diodo(s)
 - emissor de luz (LED), 294, 295
 - retificadores, 293, 293, 301
 - túnel, 204
 - direção de polarização, 14, 16
 - disco, difração por uma abertura circular, 120-123, 120
 - dispersão
 - cromática, 19, 19
 - por redes de difração, 130-132, 130
 - dispositivos semicondutores, 279
 - dissulfeto de carbono, índice de refração, 18t
 - distância
 - da imagem, 42

- de coerência, 266
- do objeto, 42
- focal
 - espelhos esféricos, 44, 44
 - lente de aumento simples, 57, 57
 - lentes delgadas, 51, 52
 - microscópio composto, 59, 59
 - telescópio refrator, 59, 59, 74
- interplanar, 133
- divisor de feixe, 97
- dopagem de semicondutores, 289-291
- dose de radiação, 322
- dreno de um transistor de efeito de campo, 296, 296
- dubleto do sódio, 275

E

- efeito
 - Cerenkov, 109
 - Doppler, 150
 - na astronomia, 165-168, 166
 - para a luz, 164-168, 165
 - transversal, 166, 166
 - fotelétrico, 188-191, 189
 - Hall, 279
 - túnel, 203-206, 204
 - eficiência biológica relativa (RBE), 322
 - Einstein, Albert. *Veja também* relatividade, 6, 147, 147, 150, 156-159, 169
 - condensado de Bose-Einstein, 362, 362
 - e bósons, 362
 - e fótons, 186-188
 - e lasers, 266
 - e o efeito fotelétrico, 188-191
 - eixo central, espelhos esféricos, 44, 44
 - elementos radioativos, 304
 - eletrodinâmica quântica (QED), 376
 - eletromagnetismo maxwelliano, 360
 - elétrons, 360
 - com o spin
 - para baixo, 251, 255, 255
 - para cima, 251, 255, 255
 - como férmions, 362
 - como léptons, 362, 367, 368t, 368
 - confinados, 248
 - armadilhas
 - bidimensionais e tridimensionais, 226, 227
 - retangulares com mais de um elétron, 257-260
 - unidimensionais, 215
 - currais quânticos, 213, 216, 226, 226
 - energias, 215-219
 - funções de onda, 219-222, 219
 - nanocristalitos, 224, 224
 - poço finito, 222, 223
 - pontos quânticos, 214, 225, 225
 - de condução, 282-287
 - de valência, 214, 260, 282
 - descobertos por Thomson, 304
 - dose de radiação, 322
 - espalhamento de Compton, 191-194, 192
 - modelo de Bohr, 228-231, 229
 - ondas de matéria, 196-200, 198, 199, 214
 - portadores em maioria em semicondutores tipo n , 290, 291t
 - portadores em minoria em semicondutores tipo p , 290, 291t
 - produzidos em aniquilações próton-antipróton, 364t
 - spin, 248, 249t, 361, 362
 - tunelamento, 203-206, 204
 - variação da energia cinética com a velocidade, 148, 148
- emissão
 - de fótons, 187, 247
 - como forma de os elétrons perderem energia, 217
 - emissão estimulada, 267, 267
 - lasers, 267, 267
 - linhas de emissão, 232, 232
 - mudanças de energia no átomo de hidrogênio, 230
 - espontânea, 267, 267
 - estimulada, 267, 267
 - em cometas, 275, 276
- energia
 - cinética
 - e momento, 172

- e relatividade, 171, 172
 - de desintegração, 315
 - de excitação, 243
 - de Fermi, 282, 283, 285
 - cálculo, 287
 - efeito da dopagem, 301, 301
 - de ionização, 246, 246
 - dos elementos, 246
 - de ligação
 - de alguns núclídeos, 306t
 - dos núcleos, 310, 310, 338, 340
 - e energia de excitação, 243
 - por núcleon, 309, 310, 338
 - de ponto zero, 221
 - de repouso, 169, 170
 - energia equivalente de partículas e objetos, 170t
 - e relatividade, 169-174
 - escura, 384
 - nuclear, 336
 - orbital, 230
 - transportada por ondas
 - eletromagnéticas, 9-12, 10
 - enriquecimento do urânio, 341, 357
 - equação(ões)
 - da transformação de Galileu, 160
 - da transformação de Lorentz, 160
 - consequências, 161-163
 - pares de eventos, 161t
 - de Maxwell, 201
 - de Schrödinger, 200, 214
 - determinação da densidade de probabilidade, 201
 - estado fundamental do átomo de hidrogênio, 233-235, 235, 249
 - solução
 - numérica para átomos com mais de um elétron, 260
 - para o átomo de hidrogênio, 231-238
 - para um elétron em um curral retangular, 227
 - para um elétron em um poço finito, 223
 - para um elétron em um poço unidimensional infinito, 219-222
 - para um elétron em uma caixa retangular, 227
 - do efeito fotelétrico, 189
 - do fabricante de lentes, 51
 - equilíbrio secular, 330
 - esferas de deutério e trítio, 353, 353
 - espaçamento da rede, 126
 - espaço livre, 3
 - espaço-tempo, 186, 382
 - espalhamento
 - de Compton, 191-194, 192
 - de raios X, 133, 133
 - e polarização da luz, 15
 - espectro, 232, 232
 - característico de raios X, 263, 263
 - contínuo de raios X, 261, 262, 261
 - de ressonância magnética nuclear, 254-256, 256
 - eletromagnético, 2, 2
 - espectroscópio de rede de difração, 128, 128
 - espelho(s), 41
 - côncavos, 43, 44
 - imagens, 46
 - convexos, 44, 44
 - imagens, 46
 - esféricos, 43-45, 44, 45, 60, 60
 - imagens, 44, 44, 45-48, 45, 60, 60
 - pontos focais, 44, 44
 - planos, 41-43, 41
 - semitransparente, 196, 196
 - estado(s)
 - excitados, 216, 217
 - fundamental, 216, 217, 217
 - energia de ponto zero, 221
 - função de onda do hidrogênio, 233-235, 234
 - metaestáveis, 267
 - quânticos, 214, 247
 - degenerados, 227
 - densidade de estados, 283, 284
 - ocupados, 286, 286
 - do átomo de hidrogênio com $n = 2$, 236, 237
 - subcrítico de um reator nuclear, 343
 - super-crítico de um reator nuclear, 342
 - estatística de Fermi-Dirac, 285
 - estranheza, 371
 - e hipercarga, 387
 - estrelas. *Veja também* buracos negros; Sol, 186
 - de nêutrons, 328
 - deslocamento Doppler, 165
 - formação após o big bang, 382
 - fusão nuclear em, 250, 310, 348-351
 - maior abundância de matéria que de antimatéria, 364
 - velocidade de rotação em função da distância do centro da galáxia, 381, 381
 - eventos, 147
 - de emissão, 187
 - lasers, 267, 267
 - fator de Lorentz, 153, 154, 154, 169
 - inversão relativística, 178
 - registrando, 148-150, 149
 - relatividade
 - da simultaneidade, 150, 151, 161
 - das distâncias, 156-159, 157, 162
 - das velocidades, 163, 164
 - do tempo, 151-156, 152, 162, 166
 - transformação de Lorentz, 159-161, 159
 - exames de ressonância magnética (MRI), 255, 256
 - excesso
 - de massa, 309
 - de nêutrons, 307, 328, 334, 338
 - excitação de elétrons, 217, 217
 - expansão do universo, 283, 283, 379
 - expansor de feixe, 71
 - experimento
 - de Einstein-de Haas, 247, 248
 - de interferência de Young, 82-86, 83
 - versão para fótons isolados, 194, 195
 - nova, 196, 196
 - de Stern-Gerlach, 252-254, 252
- F**
- faixas escuras. *Veja* franjas escuras
 - fases
 - da luz difratada por uma fenda, 118
 - difração de uma fenda, 116-120
 - interferência de dupla fenda, 88
 - fator
 - de difração, 124, 126-130, 126
 - de interferência, 124
 - de Lorentz, 153, 154, 154, 169
 - de multiplicação em reatores nucleares, 342
 - feixe, 5
 - incidente, 17, 18
 - femtômetro, 308
 - fenda colimadora, 252
 - fermi (unidade), 308
 - Fermi, Enrico, 337, 345, 362
 - Fermilab, 361, 375
 - férmions, 361, 362
 - quarks como, 373t
 - ferro, 261
 - curral quântico, 226, 226
 - FET (transistor de efeito de campo), 296, 296
 - fibras óticas, 23, 266
 - e lasers semicondutores, 286
 - figura(s)
 - de difração
 - definição, 112
 - por duas fendas, 125, 125
 - por uma fenda, 125, 125
 - de interferência, 83, 83, 84
 - filmes finos, interferência em, 90-96, 90
 - filtro(s)
 - cruzados, 15, 15
 - polarizador, 14, 14, 15, 25
 - Polaroid, 14
 - física
 - newtoniana, 214
 - quântica. *Veja também* elétrons confinados; princípio de exclusão de Pauli; fóton; equação de Schrödinger, 186
 - e as propriedades básicas dos átomos, 246-248, 247
 - e dispositivos semicondutores, 279
 - função de onda do átomo de hidrogênio, 231-238
 - núcleo, 304
 - ondas de matéria, 214
 - partículas, 360
 - princípio
 - de confinamento, 215
 - de correspondência, 220, 238
 - de indeterminação de Heisenberg, 202, 202, 377
 - probabilidade de ocupação, 285, 285
 - tunelamento, 203-206, 204
 - fissão nuclear, 310, 337-339, 339
 - foco. *Veja* ponto focal
 - fonte
 - luminosa pontual, 11, 41
 - pontual isotrópica, 11
 - força
 - de cor, 378
 - eletrofraca, 378
 - eletromagnética, 376, 377
 - partícula mensageira, 376-378
 - nuclear, 310
 - forma(s)
 - de linha, 132
 - gaussiana da equação das lentes delgadas, 72
 - newtoniana da equação das lentes delgadas, 72
 - fórmulas para lentes delgadas, forma gaussiana e forma newtoniana, 72
 - fotelétrons, 188
 - fotodiodo, 295
 - fóton
 - como bósons, 362
 - como quantum de luz, 186-188
 - e o efeito fotelétrico, 188-191
 - energia, 197
 - formação após o big bang, 382
 - momento, 191-194, 192, 193
 - versão para fótons isolados da interferência de dupla fenda, 194, 195
 - nova, 196, 196
 - virtual, 376
 - fragmentos
 - com excesso de nêutrons, 338
 - de fissão, 338
 - franjas
 - claras
 - de interferência de segunda ordem, 84
 - difração de uma fenda, 113-116, 114
 - interferência de dupla fenda, 83, 83, 84
 - de interferência, 83, 83
 - localização, 83-85, 84
 - escuras
 - da luz difratada por uma fenda, 118
 - de interferência de segunda ordem, 84
 - difração de uma fenda, 113-116, 114
 - interferência de dupla fenda, 83, 83, 84
 - freqüência
 - de corte no efeito fotelétrico, 188
 - dos fótons, 186, 187
 - e índice de refração, 79
 - própria, 164
 - função
 - de onda. *Veja também* equação de Schrödinger, 200
 - de um elétron aprisionado, 219-222, 219
 - do estado fundamental do átomo de hidrogênio, 233-235, 235
 - normalização, 220
 - trabalho, 189
 - fusão, 171, 310, 347
 - controlada, 352-354, 353
 - no Sol e nas estrelas, 349-351, 348, 350
 - termonuclear, 171, 310, 348
 - controlada, 352-354, 353
 - no Sol e nas estrelas, 349-351, 348, 350
- G**
- galáxia(s)
 - deslocamento Doppler, 165
 - da galáxia NGC 7319, 179, 179
 - formação após o big bang, 382
 - jatos superluminais, 181
 - M87, possível buraco negro supermaciço no centro da, 146, 146, 167, 167
 - maior abundância de matéria que de antimatéria, 364
 - recessão e a expansão do universo, 379
 - gases nobres, 261, 324
 - glúons, 374, 377
 - gradiente de concentração, 292
 - gráfico de Moseley, 264, 264
 - gravitação e o big bang, 383
 - gray (unidade), 322
 - guitarra elétrica, 278, 278, 297

- H**
- hádrons, 362, 369
 - halonuclídeos, 308
 - halos entópicos, 136, 139
 - hidrogênio
 - e a equação de Schrödinger, 231-238, 249
 - formação após o big bang, 383
 - função de onda do estado fundamental, 233-235, 234
 - linhas de emissão, 128, 129
 - modelo de Bohr, 228-231, 229
 - na fusão nuclear, 171, 347-354
 - níveis de energia e espectros, 232, 232
 - números quânticos, 233-235, 234t
 - hologramas, 129, 266
 - uso em documentos, 129
- I**
- ignição, no confinamento magnético, 353
 - ilha de estabilidade, 308
 - imagem(ns)
 - como localizar desenhando raios, 47, 47, 54, 54
 - de espelhos
 - esféricos, 45-48, 44, 45, 60, 60
 - planos, 41-43, 41
 - de lentes delgadas, 53-56, 53, 54, 61, 62
 - de objetos maiores, 42, 42
 - de superfícies refratoras esféricas, 48-51, 48, 60, 60
 - invertidas, 45, 45
 - pontual, 41
 - produzidas por lentes desenhando raios, como
 - localizar, 54, 54
 - reais, 40
 - produzidas por espelhos esféricos, 48
 - produzidas por lentes delgadas, 53, 53
 - produzidas por superfícies refratoras esféricas, 49, 49
 - tipos de, 40
 - virtual
 - definição, 40
 - espelhos esféricos, 48
 - lentes delgadas, 53, 53
 - superfícies refratoras esféricas, 49, 49
 - índice(s) de refração
 - de alguns meios, 18t
 - definição, 18, 78
 - e comprimento de onda, 79, 80
 - e dispersão cromática, 19
 - inflação do universo após o big bang, 382
 - instrumentos óticos, 57-60
 - intensidade
 - da luz difratada
 - por duas fendas, 123-125, 124, 125
 - por uma fenda, 116-120, 117, 118
 - da luz polarizada transmitida, 14-16, 15
 - das franjas
 - de interferência, 87-90, 87
 - produzidas por uma rede de difração, 127, 127
 - das ondas eletromagnéticas, 10, 11
 - interação
 - eletrofraca, 377
 - eletromagnética, 362
 - forte, 311, 362, 365
 - conservação da estranheza, 371
 - partícula mensageira, 378
 - fraca, 362, 365
 - partículas mensageiras, 377
 - gravitacional, 362
 - interferência. *Veja também* difração, 76-110
 - anéis de Newton, 105, 105
 - combinando mais de duas ondas, 89
 - comparação com difração, 125
 - de dupla fenda
 - de ondas de matéria, 196, 197
 - experimento de Young, 82-86, 83
 - intensidade, 87-90, 88
 - versão para fótons isolados, 195, 194
 - nova, 196, 196
 - de fótons isolados, 194, 195, 197
 - de ondas de matéria, 196, 198
 - e coerência, 86
 - e o arco-íris, 80, 80
 - em filmes finos, 90-96, 90
 - em fase, 92
 - experimento de Young, 82-86, 83
 - intensidade das franjas, 87-90, 87
 - interferômetro de Michelson, 97, 97
 - ótica, 77
 - e o arco-íris, 80, 80
 - interferômetro, 97
 - de Michelson, 97, 97
 - intervalos de tempo, entre eventos relativísticos, 151-156, 152
 - inversão
 - de população, 268, 271
 - em lasers semicondutores, 295
 - de spin, 255, 255
 - iridescência, 93, 93
 - isóbaros, 308
 - isolantes
 - célula unitária, 279, 279
 - propriedades elétricas, 281, 281
 - isótopos, 306

J

 - jatos superluminais, 181
 - junção
 - de Josephson, 204
 - p-n*, 292, 292
 - diodo emissor de luz (LED), 294, 295
 - diodo retificador, 293, 293, 301
 - laser semicondutor, 295, 296

K

 - káons, 155, 360
 - e a estranheza, 371
 - e o caminho óctuplo, 372t
 - káons-mais, 155

L

 - lâmpada de vapor de sódio, 197
 - largura total à meia altura, 138
 - lasers, 265
 - aplicações cirúrgicas, 245, 245, 266, 266
 - coerência, 87
 - como funcionam, 266-269, 267
 - de hélio-neônio, 268, 268
 - de raios X, 140
 - pressão da radiação, 13
 - semicondutores, 295, 296
 - usados para comprimir plasmas, 29
 - lei
 - da reflexão, 18
 - da refração, 18, 77-81, 78
 - de Bragg, 134
 - de Brewster, 25
 - de Hubble, 379
 - de Snell, 18, 77
 - de Wien, 388
 - lente(s), 51
 - bicôncava, 72
 - biconvexa, 72
 - côncavas, 72
 - côncavo-convexa, 72
 - convergente, 51, 52
 - convexas, 72
 - convexo-côncava, 72
 - de aumento simples, 57, 57
 - delgadas, 51-53
 - imagens produzidas por, 53-56, 53, 54, 61, 62
 - sistemas de duas lentes, 54
 - difração produzida por uma, 120
 - divergente, 51, 52
 - plano-côncava, 72
 - plano-convexa, 72
 - simétricas, 53
 - léptons, 362, 367, 368t
 - conservação dos números leptônicos, 368
 - formação após o big bang, 382
 - limite da série, 232, 232
 - linha(s)
 - central, 127
 - de absorção, 232, 232
 - de emissão, 128, 129, 212, 232, 233
 - de Fraunhofer, 276
 - de ordem zero, 127
 - de primeira ordem, 127
 - de segunda ordem, 127
 - de um espectro, 232, 233
 - produzidas por redes de difração, 126

lua

 - corona em volta da, 140, 140
 - datação radioativa de rochas, 321

luz. *Veja também* difração; interferência; fóton;

 - reflexão; refração, 6-8
 - após o big bang, 383
 - branca, dispersão cromática, 19, 19
 - coerente, 86, 266
 - como uma onda, 77-81, 77
 - de probabilidade, 194-196
 - incoerente, 86
 - lei da reflexão, 18
 - lei da refração, 18, 77-81, 78
 - monocromática, 19
 - lasers, 266
 - não-polarizada, 14, 14
 - parcialmente polarizada, 14, 14
 - polarizada, 13, 14
 - aleatoriamente, 13, 14
 - intensidade, 15
 - da luz polarizada transmitida, 14-16
 - princípio de Huygens, 77, 78
 - propagação em meios com diferentes índices de refração, 79, 79
 - refletida, 17
 - refratada, 17
 - teoria ondulatória e difração, 112
 - ultravioleta, 2
 - visível, 3
 - velocidade-limite, 148

M

 - magneton de Bohr, 250
 - manchas de óleo, figuras de interferência produzidas por, 90
 - mandril, cor produzida por difração, 111, 111, 135
 - manipulação lateral usando um microscópio de tunelamento, 205
 - massa atômica, 308
 - propriedades de alguns núclídeos, 306t
 - matéria
 - bariônica, 381
 - e antimatéria, 364
 - energia liberada por 1 kg, 336t
 - escura, 381
 - não-bariônica, 381
 - natureza ondulatória, 196-200
 - nuclear, 311
 - material
 - piezelétrico, 205
 - transparente, 17
 - máximo(s)
 - central
 - de difração, 118, 118
 - de interferência, 84
 - figuras de difração, 112, 112
 - de difração, 112, 112
 - de interferência
 - de dupla fenda, 83, 84, 84, 87
 - em filmes finos, 93
 - difração de uma fenda, 113-116
 - laterais
 - de figuras
 - de difração, 112, 118
 - de interferência, 84
 - de interferência de segunda ordem, 84
 - secundários de uma figura de difração, 112, 118
 - Maxwell, James Clerk, 2, 12, 77, 377
 - mecânica
 - newtoniana, 200, 360
 - quântica, 186
 - meia-vida, 307, 313, 360
 - e datação radioativa, 321
 - meio, 6
 - mésos, 363, 369
 - e o caminho óctuplo, 371, 372t
 - e o modelo dos quarks, 374, 378
 - estrutura interna, 372
 - metais
 - célula unitária, 279, 279
 - densidade de estados, 284, 284
 - ocupados, 286, 286
 - probabilidade de ocupação, 285, 285
 - propriedades elétricas, 282-287
 - microondas, 2
 - microscópio, 57

composto, 59, 59
de tunelamento, 205, 205
 curral quântico, 213, 213, 226, 226
eletrônico, 211
mínimos
 da luz difratada por uma fenda, 117
 de difração, 112, 112
 de uma abertura circular, 120, 120
de interferência
 de dupla fenda, 83, 84, 84, 87
 de segunda ordem, 84
 em filmes finos, 92
difração de uma fenda, 113-116
miragem, 40, 41
modelo
 coletivo do núcleo, 323
 das partículas independentes, 325
 de Bohr do átomo de hidrogênio, 228-231, 229
 do elétron livre, 248, 282
 do pudim de passas para o átomo, 304
 padrão das partículas elementares, 361
moderador, em um reator nuclear, 342
moléculas, 246
 interferência de ondas de matéria, 198
momento
 angular de spin, 248, 249t, 250, 251
 e número quântico de spin, 249t
 angular nuclear, 310
 angular orbital, 249-251, 250
 e número quântico orbital, 249t
 dipolar magnético, 247, 247
 efetivo, 251
 e energia cinética, 172
 e relatividade, 168
 linear de fótons, 191-194, 192, 193
magnético
 de spin, 250, 251
 nuclear, 310
 orbital, 249-251, 250
 referencial do centro de, 183
moscas volantes, 112, 139
MOSFET (transistor de efeito de campo metal-
 óxido-semicondutor), 296, 296
movimento unidimensional, equação de
 Schrödinger, 201
mudanças de fase causadas por reflexões, 91, 91
múons, 154, 180, 360, 367, 368t
 decaimento, 366
 produzidos em aniquilações próton-antipróton,
 364t, 366

N

neutrinos, 319
 como léptons, 363
 como matéria escura não-bariônica, 381
 do elétron, 367, 368t
 do múon, 367, 368t
 do tau, 367, 368t
 e o decaimento beta, 318, 319
 na fusão, 349
 produzidos em aniquilações
 próton-antipróton, 364t
nêutrons, 360
 colisões com prótons, 329
 como férmions, 362
 como hádrons, 363
 como ondas de matéria, 198
 controle em reatores nucleares, 341-345, 342
 descoberta, 377
 e o caminho óctuplo, 372t
 equilíbrio em reatores nucleares, 342, 343
 formação após o big bang, 382
 térmicos, 337-339, 342
Newton, Isaac, 113
 telescópio refletor, 74
nível(is)
 completos, 257
 de base de uma série de linhas, 232
 de energia
 completos, vazios e parcialmente
 ocupados, 257
 de armadilhas retangulares com mais de
 um elétron, 257-260
 de um elétron confinado, 216-219, 216
 do hidrogênio, 232, 232
 dos núcleos, 310
 em sólidos cristalinos, 280, 280

 excitação e decaimento, 217
 de Fermi, 282
 desocupados, 257, 281, 324
 ocupados, 257
 parcialmente ocupados, 257
 vazios, 257, 281
normal (ótica), 17, 18
normalização da função de onda, 220
núcleo, 305
 composto, 324
 decaimento radioativo, 360
 modelos, 323-326, 324
núcleons, 306, 363
núcleos-filhos, 328
nuclídeos, 305, 306t
 classificação, 306-308, 307
 com um número mágico nucleares, 325
 duplamente mágicos, 325
 transurânicos, 343
número(s)
 atômico, 251, 306
 bariônico, conservação do, 369
 de carga, 251
 de massa, 306
 de alguns nuclídeos, 306t
 de nêutrons, 306
 em alguns nuclídeos, 306t
 de onda, 201
 de ordem de uma linha de difração, 127
 de prótons, 306
 de alguns nuclídeos, 306t
 leptônicos, 368
 conservação dos, 368
mágicos
 de núcleons, 325
 eletrônicos, 325
 nucleares, 325
quântico(s), 231, 249t
 de carga, 365
 de spin, 248, 249t, 261
 do átomo de hidrogênio, 233-235
 e a tabela periódica, 260
 e o princípio de exclusão de Pauli, 256
 magnético
 de spin, 248, 249t, 261
 orbital, 233, 234t, 249t
 orbital, 233, 234t, 249t, 280
 principal, 233, 234t, 249t, 280

O

objetiva
 microscópio composto, 59, 59
 telescópio refletor, 74, 75
 telescópio refrator, 59
objeto (ótica), 41, 41
objetos maiores, 42, 42
obtenção de imagens por ressonância magnética
 nuclear (MRI), 266
ocular
 microscópio composto, 58, 58
 telescópio refletor, 75, 75
 telescópio refrator, 59
olho humano, 57, 70, 70
 moscas volantes, 112, 139
 produção de imagens, 40
 sensibilidade a diferentes comprimentos de
 onda, 3, 3
onda(s), 199
 curtas, 3
 de matéria, elétrons, 196-200, 198, 199, 214, 215
 de probabilidade
 a luz como uma, 194-196
 a onda de matéria como uma, 197
 de rádio, 2, 3
 eletromagnéticas. *Veja também* reflexão; refração,
 2, 3-9, 5, 6
 campo elétrico induzido, 6-8, 6, 8
 descrição qualitativa, 3-9, 3, 6
 em fase, 4
 polarização, 13-17, 13, 14
 por reflexão, 25, 25
 pressão de radiação, 12
 transporte de energia, 9-12, 10
 transversais, 4
 variação da intensidade com a distância, 10, 11
 velocidade de propagação, 6
 vetor de Poynting, 9-12, 10

 estacionárias, 214
 longas, 2
 planas, 4
 plano-polarizadas, 14
 polarizadas, 13-17, 13, 14
 progressivas, 214
 função de onda, 200
 secundárias de Huygens, 78, 113, 116
osciladores LC, criação de ondas de rádio, 3-6, 3
ótica, 2
 geométrica, 17, 112
 difração como um limite da, 81
ouro, 264
 espalhamento de partículas alfa, 304
 isótopos, 306

P

parâmetro
 de distorção, 340
 de velocidade, 153, 154, 387
parélio, 1, 1, 22, 22
parte não-quantizada do diagrama de níveis de
 energia, 223, 223
partícula(s), 199
 alfa, 305, 305, 316
 dose de radiação, 322
 energia de ligação por núcleon, 310
 na fusão termonuclear, 350
 número mágico de núcleons, 325
 bósons, 361, 362
 conservação
 da estranheza, 371
 do número bariônico, 369
 do número leptônico, 368
 csi-menos, 370, 372t, 376
 e antipartículas, 364, 365
 estranhas, 371, 371
 férmions, 361, 362
 formação após o big bang, 382
 hádrons, 363, 369
 interações básicas e partículas mensageiras,
 376-378
 lambda e o caminho óctuplo, 372t
 lambda-zero, 370
 léptons, 363, 367, 368t
 livre, 201
 e o princípio de indeterminação de
 Heisenberg, 202, 202
 ondas de matéria, 214
 mensageiras, 376-378
 W, 377
 Z, 377
modelo
 dos quarks, 373-379, 373
 padrão, 361
 processos de decaimento, 364-367
 sigma, 360
 e a estranheza, 371
 e o caminho óctuplo, 372t
 tau, 367, 368t
pascal (unidade), 13
peixe, visão debaixo d'água, *Anableps anableps*, 39,
 39, 50, 50
período próprio, 167
pico de ressonância, 255
píon(s), 148, 183, 360
 como hádrons, 363
 como mésons, 363
 decaimento, 365
 e o caminho óctuplo, 372t
 neutro, 148
 produzidos pela aniquilação próton-antipróton,
 364t, 365
plano(s)
 cristalinos, 133, 133
 da junção, 292
 de incidência, 18
 de oscilação da luz polarizada, 13, 13
 focal, 84
 telescópio refletor, 74
poço de potencial
 finito, 223, 223
 infinito, 215, 215
 unidimensional, 216
poder de captação de luz do telescópio refrator, 60
polarização, 13-17, 14
 direta de um diodo retificador, 293, 293, 295

por reflexão, 25, 25
 polarizador, 15
 ponto(s)
 anti-solar, 20, 20
 claro de Fresnel, 113, 113
 da primeira reflexão, 34, 34
 de segunda reflexão, 34, 34
 focal
 espelhos esféricos, 44, 44
 lente(s)
 de aumento simples, 57, 57
 delgadas, 51, 52
 microscópio composto, 59, 59
 real, 44, 45, 52
 sistemas de duas lentes, 54
 telescópio
 refletor, 74
 refrator, 59, 59
 virtual, 44, 45
 próximo, 57, 57
 quânticos, 214, 225, 225
 portadores
 de carga, 287
 semicondutores dopados, 289-291
 em maioria, 290
 movimentos dos, 292, 292
 em minoria, 290
 movimentos dos, 293
 pósitrons
 aniquilação elétron-pósitron, 349, 363
 anti-hidrogênio, 363
 na fusão, 349, 350
 postulado
 da relatividade, 147
 da velocidade da luz, 148
 potencial de corte, 188, 189
 pressão de radiação, 12
 princípio
 de Babinet, 138
 de confinamento, 215
 de correspondência, 220, 238
 de exclusão de Pauli, 256
 e a tabela periódica, 260
 e a velocidade de Fermi, 282
 é obedecido pelos férmions, 362
 e os níveis de energia em um sólido cristalino, 280
 e os núcleons, 324
 não é obedecido pelos bósons, 362
 de Huygens, 77, 78
 de indeterminação, 202, 202, 377
 de Heisenberg, 202, 377
 prisma, 19, 20
 ângulo de desvio mínimo, 33
 triangular, 19, 20
 ângulo de desvio mínimo, 33
 probabilidade
 de detecção de elétrons
 aprimorados, 219
 do átomo de hidrogênio, 233-235
 de ocupação, 285, 285
 profundidade do poço, 222
 próton(s), 360
 como bárions, 363
 como férmions, 362
 como hádrons, 363
 como onda de matéria, 197, 198, 214
 energia de repouso, 170t
 formação após o big bang, 382
 na fusão, 347-354
 possível decaimento, 386
 ultra-relativístico, 173

Q

quantização da energia, 186, 214
 em armadilhas para elétrons, 215-219
 orbital, 230
 quantum, 186
 de luz, 186-188
 quarks, 373-376, 373, 373t
 bottom, 373t, 375
 charme, 373t, 375
 down, 373, 373t, 374, 374
 estranho, 373, 373t, 373
 formação após o big bang, 382
 top, 373t, 375
 up, 373, 373t, 373, 374

quartzo fundido
 índice de refração, 18t
 em função do comprimento de onda, 19
 quasars, 180, 379
 queima do hélio na fusão, 351

R

rad (unidade), 322
 radar de ondas milimétricas, 139
 radiação
 cósmica de fundo, 380, 383, 383
 eletromagnética, 3
 refletida, 12
 rádio (elemento), 330
 radionuclídeos, 306
 dose de radiação, 322
 radioterapia, 330
 radônio, 304, 330, 334
 raio(s)
 como localizar imagens
 produzidas por espelhos desenhando, 47, 47
 produzidas por lentes desenhando, 54, 54
 cósmicos, exposição à radiação em viagens aéreas, 303, 303, 323
 de Bohr, 230, 238
 de curvatura
 de espelhos esféricos, 43, 43
 de superfícies refratoras esféricas, 49, 49
 dos núcleos, 308
 gama, 3, 363
 dose de radiação, 322
 nas reações de fusão, 350
 velocidade-limite, 148
 infravermelhos, 2
 orbital, 229
 refletido, 17, 18
 refratado, 17, 18
 X, 3, 3
 dose de radiação, 322
 espectro
 característico, 263, 263
 contínuo, 261, 262, 261
 dos elementos, 261-265
 ranhuras de uma rede de difração, 126, 126
 razão
 entre as amplitudes em uma onda
 eletromagnética, 5
 entre os módulos dos campos em ondas
 eletromagnéticas, 5
 RBE (eficiência biológica relativa), 322
 reação(ões)
 de fusão, 171
 deuteron-trítion, 352
 em cadeia, 341
 endotérmicas, 367
 nucleares, 169
 reator
 de Chernobyl, 333, 341
 de fusão TFTR, 353, 353
 nuclear, 341-345, 341, 342
 de água pressurizada (PWR), 343, 344
 natural, 345-347, 346
 rede
 cristalina, 279, 279
 do diamante, 279, 279
 cúbica de faces centradas, 279, 279
 de difração
 de raios X, 133
 de três fendas, 142
 dispersão, 130-132, 130
 meia largura das linhas de uma, 127, 127
 resolução, 130-132, 130
 referencial(is)
 de repouso, 154
 do centro de momento, 183
 inerciais, 147
 refletor de canto, 75
 reflexão, 17-22, 18
 interna total, 23, 24, 23
 lei da, 18
 polarização por, 25, 25
 refração. *Veja também* índice de refração, 17-22, 17
 e dispersão cromática, 19, 19
 lei da, 18, 77-81, 78
 regra
 da metade para a intensidade da luz polarizada
 transmitida, 15

do co-seno ao quadrado, 15
 rejeitos radioativos, 343, 344
 relatividade, 186, 360
 da energia total, 170
 da simultaneidade, 150, 151, 161
 das distâncias, 156-159, 157, 162
 das velocidades, 163, 164
 do tempo, 151-156, 152, 162, 166
 e energia, 169-174
 cinética, 171, 172
 de repouso, 169, 170t
 e momento, 168
 efeito Doppler para a luz, 164-168, 165
 fator de Lorentz, 153, 154, 154, 169
 postulado, 148
 da velocidade da luz, 148
 registro de eventos, 148-150, 149
 teoria
 geral, 147, 154
 restrita, 147, 154, 166
 transformação de Lorentz, 159-161, 159
 relógios
 atômicos, testes da dilatação dos tempos, 154
 conjunto para registrar eventos, 149, 149
 demonstrações da dilatação dos tempos, 154, 186
 microscópicos, demonstrações da dilatação dos
 tempos, 154
 rem (unidade), 322
 resistividade, 279
 de semicondutores, 288
 do cobre e do silício, 280t
 resolução, 120-122, 120
 ressonância magnética, 254-256, 256
 eletrônica — RME, 255
 nuclear — RMN, 254-256
 Rutherford, Ernest, 210, 304

S

sabores dos quarks, 373, 378
 salto quântico, 217
 satélites NAVSTAR, 147, 167
 semicondutores
 célula unitária, 279, 279
 diodo emissor de luz (LED), 294, 295
 dopados, 289-291, 290
 nanocristalitos, 224, 224
 propriedades elétricas, 287, 287
 tipo *n*. *Veja também* junção *p-n*, 290, 290
 tipo *p*. *Veja também* junção *p-n*, 290, 290
 separação temporal de eventos, 150
 série
 de Balmer, 229, 231, 232, 232
 de Lyman, 232, 232, 235
 de Paschen, 232, 232
 sievert (unidade), 322
 silício
 célula unitária, 279, 279
 coeficiente de temperatura da resistividade, 288
 como um semicondutor, 287
 comparação
 com o germânio, 299
 das propriedades elétricas com as do cobre,
 280t, 287
 entre o tipo *n* e o tipo *p*, 291t
 concentração de elétrons na banda de
 condução, 301
 efeito da dopagem sobre a energia de Fermi, 301
 em um MOSFET, 296
 simultaneidade
 consequências das equações de Lorentz, 161-163
 relatividade da, 150, 150
 sistema
 acústico de dupla fenda, 145
 de Posicionamento Global (GPS), 147, 167
 solar, 384
 sódio, 261, 325
 Sol, 384
 fusão nuclear no, 310, 349-351, 348, 350
 intensidade da radiação solar logo acima da
 atmosfera, 37
 luz polarizada aleatoriamente, 14
 massa específica no centro do, 358
 neutrinos provenientes do, 319
 radiação do, 2
 sólidos
 cristalinos
 níveis de energia, 280, 280t

propriedades elétricas, 279, 279
 propriedades elétricas, 279, 279
speckle, 86
 spin, 248, 249t, 261, 262
 do elétron, 248, 249t, 361, 362
 isospin, 387
 nuclear, 306t, 310
 subcamada(s), 238, 249, 249t
 completa, 260
d, 260, 261
 e a tabela periódica, 260
 e níveis de energia dos sólidos cristalinos, 280
f, 260
g, 260
h, 260
p, 260, 261
s, 260, 261
 submarinos, Projeto Seafarer, 28
 substrato, 296
 superfícies refratoras esféricas, 48, 49
 imagens, 48-51, 49, 60, 60
 supernova, 351, 351, 384
 SN1987A, 319, 319, 351, 351

T

tabela periódica, 186, 246
 construção, 260
 espectros de raios X dos elementos, 261-265
 taxa de decaimento, 313
 tecnologia, 214
 telescópios, 57
 em satélites de reconhecimento, 138
 refletores, 75, 75
 refratores, 59, 59
 tempo
 de geração de nêutrons em reatores nucleares, 356
 de resposta das barras de controle de um reator nuclear, 343
 de vida de partículas subatômicas, 154
 nuclear característico, 334
 próprio, 153
 relatividade, 151-156, 152, 162, 166
 teoria
 da relatividade
 geral, 147, 154
 restrita, 6, 147, 154, 166
 de grande unificação, 378
 quântica, 186, 214

Terra. *Veja também* núcleo, 384
 intensidade da radiação solar logo acima da atmosfera, 37
 momento magnético efetivo, 251
 terras-raras, 264
 Tevatron, 375
 tintas de cor variável, 76, 76, 77, 94, 94
 transformação de Lorentz, 159-161, 159
 transformadores em osciladores LC, 3, 3
 transição, 217
 transistores, 186
 de efeito de campo (FET), 296, 296
 de efeito de campo metal-óxido (MOSFET), 296, 296
 tratamento do câncer, 304
 com ^{198}Au , 332
 com ^{60}Co , 329
 trítio, 352, 353
 e o vale dos núclídeos, 320
 trítion, 352

U

unidades de massa atômica, 309
 universo
 big bang, 378, 381-384, 382
 densidade máxima para que o universo continue a se expandir, 387
 energia escura, 383
 expansão, 379, 383, 383, 387
 idade estimada, 379
 imagem em cores falsas do universo quando tinha 379.000 anos, 359, 359, 383
 matéria escura, 381
 radiação cósmica de fundo, 380, 383, 383
 urânio, energia de repouso, 170t
 urânio- 228
 decaimento alfa, 316
 meia-vida, 316, 317t
 urânio- 235 , 356
 concentração no minério de urânio, 357
 em um reator nuclear natural, 345
 enriquecido, 341, 357
 fissão, 337-339, 339, 355
 espontânea, 355
 possibilidade de fissão, 341, 341t, 345
 urânio- 236 , 337, 341t
 urânio- 238 , 312
 abundância no granito, 332

decaimento alfa, 315-317, 316
 energia de ligação por nucleon, 310
 meia-vida, 332
 possibilidade de fissão, 341, 341t, 346
 urânio- 239 , 341t
 uso do laser para monitorar espessura, 137, 137

V

vale de núclídeos, 319, 320
 valência, 289
 válvula fotomultiplicadora, 196
 velocidade. *Veja também* força; energia cinética da luz, 6
 como velocidade-limite, 148
 de Fermi, 282
 mais provável na fusão, 348
 relatividade, 163, 164
 vento solar e cometas, 30, 30
 vetor(es)
 acoplados, 247
 de Poynting, 9-12, 10
 vida média, 313, 360
 vidro
 índice de refração, 18t
 polarização da luz por reflexão, 25
 visão debaixo d'água do peixe *Anableps anableps*, 39, 39, 50, 50

W

Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP), 382, 383
 WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), 382, 383

X

xenônio, cadeia de decaimentos, 338

Z

zona de depleção
 de junções *p-n*, 292
 de um MOSFET, 296



Cromosete
Gráfica e editora Ltda.

Impressão e acabamento
Rua Uhland, 307 - Vila Ema
03283-000 - São Paulo - SP
Tel/Fax: (011) 6104-1176
Email: adm@cromosete.com.br

Algumas Propriedades Físicas

Ar (seco, a 20°C e 1 atm)

Massa específica	1,21 kg/m ³
Calor específico a pressão constante	1010 J/kg · K
Razão entre os calores específicos	1,40
Velocidade do som	343 m/s
Rigidez dielétrica	3×10^6 V/m
Massa molar efetiva	0,0289 kg/mol

Água

Massa específica	1000 kg/m ³
Velocidade do som	1460 m/s
Calor específico a pressão constante	4190 J/kg · K
Calor de fusão (0°C)	333 kJ/kg
Calor de vaporização (100°C)	2260 kJ/kg
Índice de refração ($\lambda = 589$ nm)	1,33
Massa molar	0,0180 kg/mol

Terra

Massa	$5,98 \times 10^{24}$ kg
Raio médio	$6,37 \times 10^6$ m
Aceleração de queda livre na superfície da Terra	9,8 m/s ²
Atmosfera-padrão	$1,01 \times 10^5$ Pa
Período de um satélite a uma altitude de 100 km	86,3 min
Raio da órbita geossíncrona	42 200 km
Velocidade de escape	11,2 km/s
Momento dipolar magnético	$8,0 \times 10^{22}$ A · m ²
Campo elétrico médio na superfície	150 V/m, para baixo

Distância até

A Lua	$3,82 \times 10^8$ m
O Sol	$1,50 \times 10^{11}$ m
A estrela mais próxima	$4,04 \times 10^{16}$ m
O centro da nossa galáxia	$2,2 \times 10^{20}$ m
A galáxia de Andrômeda	$2,1 \times 10^{22}$ m
O limite do universo observável	$\sim 10^{26}$ m

Alfabeto Grego

Alfa	A	α	Iota	I	ι	Rô	P	ρ
Beta	B	β	Capa	K	κ	Sigma	Σ	σ
Gama	Γ	γ	Lambda	Λ	λ	Tau	T	τ
Delta	Δ	δ	Mi	M	μ	Ípsilon	Y	υ
Epsilon	E	ϵ	Ni	N	ν	Fi	Φ	ϕ, φ
Zeta	Z	ζ	Csi	Ξ	ξ	Qui	X	χ
Eta	H	η	Ômicron	O	o	Psi	Ψ	ψ
Teta	Θ	θ	Pi	Π	π	Ômega	Ω	ω

Algumas Constantes Físicas*

Velocidade da luz	c	$2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$
Constante gravitacional	G	$6,673 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$
Constante de Avogadro	N_A	$6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Constante universal dos gases	R	$8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$
Relação entre massa e energia	c^2	$8,988 \times 10^{16} \text{ J/kg}$ $931,49 \text{ MeV/u}$
Permissividade elétrica do vácuo	ϵ_0	$8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
Permeabilidade magnética do vácuo	μ_0	$1,257 \times 10^{-6} \text{ H/m}$
Constante de Planck	h	$6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ $4,136 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$
Constante de Boltzmann	k	$1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ $8,617 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$
Carga elementar	e	$1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Massa do elétron	m_e	$9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Massa do próton	m_p	$1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Massa do nêutron	m_n	$1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Massa do dêuteron	m_d	$3,344 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Raio de Bohr	a	$5,292 \times 10^{-11} \text{ m}$
Magnéton de Bohr	μ_B	$9,274 \times 10^{-24} \text{ J/T}$ $5,788 \times 10^{-5} \text{ eV/T}$
Constante de Rydberg	R	$1,097\,373 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

*Uma lista mais completa, que mostra também os melhores valores experimentais, está no Apêndice B.

Alguns Fatores de Conversão*

Massa e Massa Específica

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 6,02 \times 10^{26} \text{ u}$$

$$1 \text{ slug} = 14,59 \text{ kg}$$

$$1 \text{ u} = 1,661 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$1 \text{ kg/m}^3 = 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

Comprimento e Volume

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 39,4 \text{ in} = 3,28 \text{ ft}$$

$$1 \text{ mi} = 1,61 \text{ km} = 5280 \text{ ft}$$

$$1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10 \text{ Å}$$

$$1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m} = 1000 \text{ fm}$$

$$1 \text{ ano-luz} = 9,461 \times 10^{15} \text{ m}$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L} = 35,3 \text{ ft}^3 = 264 \text{ gal}$$

Tempo

$$1 \text{ d} = 86\,400 \text{ s}$$

$$1 \text{ ano} = 365 \text{ d } 6 \text{ h} = 3,16 \times 10^7 \text{ s}$$

Ângulos

$$1 \text{ rad} = 57,0^\circ = 0,159 \text{ rev}$$

$$\pi \text{ rad} = 180^\circ = \frac{1}{2} \text{ rev}$$

Velocidade

$$1 \text{ m/s} = 3,28 \text{ ft/s} = 2,24 \text{ mi/h}$$

$$1 \text{ km/h} = 0,621 \text{ mi/h} = 0,278 \text{ m/s}$$

Força e Pressão

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ dina} = 0,225 \text{ lb}$$

$$1 \text{ lb} = 4,45 \text{ N}$$

$$1 \text{ t} = 2000 \text{ lb}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10 \text{ dina/cm}^2$$

$$= 1,45 \times 10^{-4} \text{ lb/in}^2$$

$$1 \text{ atm} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa} = 14,7 \text{ lb/in}^2$$

$$= 76,0 \text{ cm Hg}$$

Energia e Potência

$$1 \text{ J} = 10^7 \text{ erg} = 0,2389 \text{ cal} = 0,738 \text{ ft} \cdot \text{lb}$$

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ hp}^{**} = 746 \text{ W} = 550 \text{ ft} \cdot \text{lb/s}$$

Magnetismo

$$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2 = 10^4 \text{ gauss}$$

*Uma lista mais completa está no Apêndice D.

**A unidade de potência hp é uma abreviatura do inglês *horsepower*, que não corresponde exatamente ao cavalo-vapor (cv), que é igual a 735,5 W (N.T.)

Sobre a capa

A capa é uma imagem de Eric J. Heller que mostra as trajetórias de elétrons em uma superfície com irregularidades microscópicas. Os 100.000 elétrons partem do canto superior direito e se espalham para formar um desenho complexo ao se dirigirem para o canto inferior esquerdo.

O movimento dos elétrons é tratado em vários capítulos deste livro, e é especialmente importante na discussão sobre centelhas elétricas. Algumas centelhas são inofensivas, como os clarões azuis produzidos quando alguém mastiga uma pastilha de gaultéria em um quarto escuro (Capítulo 21). Outras centelhas podem ser muito perigosas, como as descargas eletrostáticas que podem causar a explosão de um pó industrial (Capítulo 25).

Ocupe Seu Lugar — O Espetáculo Vai Começar!

Esta 8ª edição de **Fundamentos de Física** contém centenas de exemplos interessantes extraídos da vida real, no espírito do livro de Jearl Walker **O Circo Voador da Física**. A primeira edição de **O Circo Voador da Física**, no mercado há mais de 30 anos em 10 idiomas, tornou-se um clássico para estudantes de física, professores de física e o público em geral. A segunda edição, lançada nos Estados Unidos em 2007, foi publicada recentemente em português pela LTC — Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., uma editora integrante do GEN | Grupo Editorial Nacional.



LTC

www.ltceditora.com.br

ISBN 978-85-216-1608-5



9 788521 616085