Capítulo 1 – A carga elétrica

Exercícios complementares

1. c

Capítulo 2 – A corrente elétrica

Exercícios complementares

1. c

2. e

Capítulo 3 – Resistência elétrica – resistores

Exercícios complementares

1. $R_{eq} = \dfrac{R\sqrt{2}}{1+\sqrt{2}}$

2. a

Capítulo 4 – Circuitos elétricos

Exercícios

1. b

2. $100\ \Omega \leqslant R_x \leqslant 400\ \Omega$

Capítulo 5 – Geradores elétricos

Exercícios complementares

1. I. V; II. F; III. V; IV. V; V. V

Capítulo 6 – Receptores elétricos e regras de Kirchhoff

Exercícios complementares

1. 50 A

Capítulo 7 – Energia e potência elétrica

Exercícios complementares

1. e

2. As pilhas e a lâmpada deverão ser ligadas em série e a resistência da lâmpada deverá ser igual a 1,0 Ω. Nesse caso, a potência dissipada pela lâmpada é 2,25 W.

3. a) $r = 4{,}0 \cdot 10^{-2}\ \Omega$

b) $P = 72$ W

4. 1 440 W

5. a) $P_0 = 1\,200$ W

b) $R_1 = 4{,}0\ \Omega$ e $R_2 = 8{,}0\ \Omega$

c) $\dfrac{P}{P_0} = 4{,}5$

6. a

7. a) 60 A

b) $r = 0{,}1\ \Omega$

c) $R = 0{,}1\ \Omega$

d) 50%

8. a) A energia elétrica consumida em cada aparelho é dada por:

$$E_{el} = P \cdot \Delta t$$

No aquecedor:

$E_A = (900\text{ W}) \cdot (3\text{ h}) = 2\,970\text{ Wh} = 2{,}97\text{ kWh}$

No ferro elétrico:

$E_F = (980\text{ W}) \cdot (3\text{ h}) = 2\,940\text{ kWh} = 2{,}94\text{ kWh}$

Nas duas lâmpadas:

$E_L = 2 \cdot (60\text{ W}) \cdot (3\text{h}) = 360\text{ Wh} = 0{,}33\text{ kWh}$

No chuveiro:

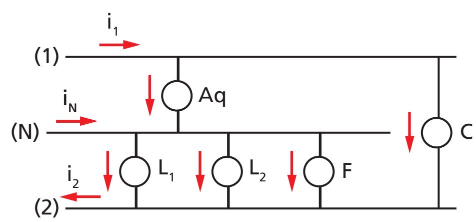
$E_c = (4400\text{ W}) \cdot \left(\dfrac{12}{60}\text{ h}\right) = 880\text{ Wh} = 0{,}88\text{ kWh}$

Total:

$E_{tot} = 2{,}97\text{ kWh} + 2{,}94\text{ kWh} + 0{,}36\text{ kWh} + 0{,}88\text{ kWh}$

$E_{tot} = 7{,}15\text{ kWh}$

b) Vamos, inicialmente, mostrar o circuito omitindo o fio-terra, pois nele não circula corrente.



A_q = aquecedor; L_1 e L_2 = lâmpadas; F = ferro elétrico; C = chuveiro

Cálculo das intensidades de corrente em cada aparelho:

- no aquecedor:

$$P = i \cdot U \Rightarrow i_a = \frac{990\text{ W}}{110\text{ V}} = 9{,}0\text{ A}$$

- nas lâmpadas:

$$i_{L_1} = i_{L_2} = \frac{60\text{ W}}{110\text{ V}} = \frac{6}{11}\text{ A}$$

- no chuveiro:

$$i_C = \frac{4\,400\text{ W}}{220\text{ V}} = 20{,}0\text{ A}$$

- no ferro elétrico

$$i_F = \frac{980\text{ W}}{110\text{ V}} = \frac{98}{11}\text{ A}$$

No fio fase 1, passam as correntes que alimentam o aquecedor e o chuveiro:

$i_1 = 9{,}0\text{ A} + 20{,}0\text{ A} \Rightarrow i_1 = 29{,}0\text{ A}$

No fio fase 2, passam as corrente que alimentam as duas lâmpadas, o ferro elétrico e o chuveiro:

$$i_2 = \left(2 \cdot \frac{6}{11} + \frac{98}{11} + 20{,}0\right)\text{ A}$$

$i_2 = 30{,}0$ A

c) No fio neutro, circula a diferença entre as intensidades de corrente dos fios 1 e 2:
$i_N = i_2 - i_1$
$i_N = 1{,}0$ A

Capítulo 8 – Medidores elétricos

Exercícios complementares

1. c

Capítulo 9 – Eletrização

Exercícios complementares

1. a

2. d

3. b

4. São corretas: (I); (II); (IV); (V)

Capítulo 10 – Força elétrica – Lei de Coulomb

Exercícios complementares

1. $5 \cdot 10^5$ N

2. a) $2{,}2 \cdot 10^6$ m/s
b) $2{,}15 \cdot 10^{-18}$ J

3. a) Força elétrica $= 4 \cdot 10^3$ N
b) Força gravitacional $= 2 \cdot 10^{20}$ N; a razão entre os módulos da força gravitacional e da força elétrica é da ordem de 10^{16}.

4. d

Capítulo 11 – Campo elétrico

Exercícios complementares

1. Corretas: 04 + 08 = 12

2. 16 Q

3. 1

Capítulo 12 – Potencial elétrico

Exercícios complementares

1. c

2. Estão corretas: 01 + 04 + 08 + 16 = 29.

3. Corretas: 01 + 02 + 04 = 07

4. 27 V

5. e

6. b

Capítulo 13 – Condutores em equilíbrio eletrostático

Exercícios complementares

1. 02 + 08 = 10

2. b

3. b

4. a

Capítulo 14 – Campo elétrico uniforme

Exercícios complementares

1. $U = \dfrac{5\sqrt{3} \cdot 10^5}{9}$ V

2. $5{,}0 \cdot 10^{-10}$ s

3. a) os íons de cloro ($C\ell^-$) movem-se de dentro para fora da célula, e os íons de cálcio (Ca^{++}), de fora para dentro da célula.
b) $E = 8{,}0 \cdot 10^6$ V/m
c) $Q = 7{,}68 \cdot 10^{-13}$ C

Capítulo 15 – Capacitores

Exercícios complementares

1. $x = \frac{1}{7}$

2. 5,0 A

3. a) $n = 2{,}0 \cdot 10^7$ íons
b) $P = 1{,}6 \cdot 10^{-12}$ W

Capítulo 16 – O campo magnético

Exercícios complementares

1. a

2. a

3. a

4. a

5. c

6. a

Capítulo 17 – A força magnética

Exercícios complementares

1. a) $x = 1{,}0$ m
b) 4,8 m

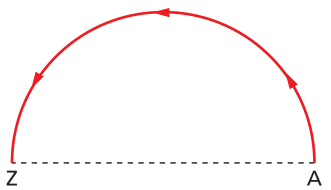
2. elétron: *A*; próton: *D*; dêuteron: *C*

3. a) $2{,}0 \cdot 10^{-6}$ V

b) $5 \cdot 10^{-4}$ m/s

4. $\begin{cases} |q| = 4{,}0 \cdot 10^{-12}\ \text{C} \\ m = 2{,}0 \cdot 10^{-18}\ \text{kg} \\ B = 0{,}80\ \text{T} = 8{,}0 \cdot 10^{-1}\ \text{T} \\ v = 6{,}4 \cdot 10^{5}\ \text{m/s} \end{cases}$

a)



b) A distância AZ é igual ao diâmetro da circunferência, isto é, o dobro do raio da trajetória.

$$AZ = 2R = \frac{2mv}{|q| \cdot B} = \frac{(2)(2{,}0 \cdot 10^{-18})(6{,}4 \cdot 10^{5})}{(4{,}0 \cdot 10^{-12})(8{,}0 \cdot 10^{-1})}$$

$AZ = 0{,}80$ m

c) O comprimento da circunferência é $2\pi R$. Como temos uma semicircunferência, o tempo de percurso é:

$$\Delta t = \frac{\pi R}{v} \cong \frac{(3{,}14)(0{,}40)}{6{,}4 \cdot 10^{5}}\ \text{s} \Rightarrow \Delta t = 1{,}96 \cdot 10^{-6}\ \text{s}$$

5. d

6. e

7. d

8. $R \cong 4{,}9 \cdot 10^{-2}$ m; $p \cong 0{,}18$ m

9. $B = 0{,}50$ T. Sentido: para fora do plano do papel.

10. 0,10 N

11. A força magnética tem direção perpendicular a $\vec{E}$ e $\vec{B}$ e, portanto, direção paralela ao eixo *x*.
Resposta: *e*.

12. d

Capítulo 18 – Fontes de campo magnético

Exercícios

1. b

2. d

3. Aumenta a intensidade de $\vec{B}$.

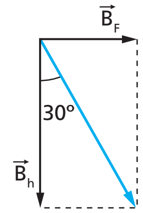
4. c

5. e

6. Norte.

Exercícios complementares

7. $\begin{cases} r = 2{,}0\ \text{cm} = 2{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{m} \\ B_h = 3{,}0 \cdot 10^{-5}\ \text{T} \end{cases}$



Sendo $\vec{B}_F$ o campo magnético produzido pelo fio, temos:

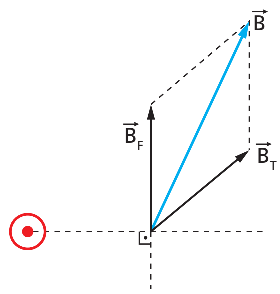
$$\text{tg } 30° = \frac{B_F}{B_h} \Rightarrow \frac{\sqrt{3}}{3} = \frac{B_F}{3{,}0 \cdot 10^{-5}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow B_F = \sqrt{3} \cdot 10^{-5}\ \text{T}$$

$$\text{Como: } B_F = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \Rightarrow i = \frac{2\pi r B_F}{\mu_0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i = \frac{2\pi(2{,}0 \cdot 10^{-2})\sqrt{3} \cdot 10^{-5}}{4\pi \cdot 10^{-7}} \Rightarrow i = \sqrt{3}\ \text{A}$$

8.



Resposta: *a*.

9. d

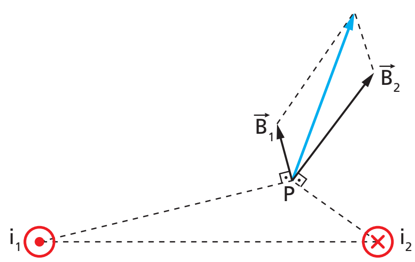
10. a) O campo produzido por i_1 tem sentido para dentro do plano da figura. Portanto, o campo produzido por i_2 deve ter sentido para fora do plano da figura e, para isso, i_2 deve ter sentido para baixo.

b) $B_1 = \dfrac{\mu_0 i_1}{2\pi r_1}$; $B_2 = \dfrac{\mu_0 i_2}{2\pi r_2}$

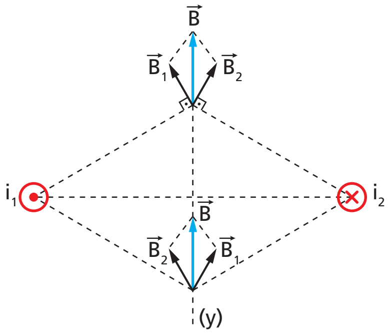
$$B_1 = B_2 \Rightarrow \frac{\mu_0 i_1}{2\pi r_1} = \frac{\mu_0 i_2}{2\pi r_2} \Rightarrow \frac{i_2}{i_1} = \frac{r_2}{r_1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{i_2}{5{,}0} = \frac{45}{15} \Rightarrow i_2 = 15\ \text{A}$$

11. Para a agulha ficar em *P*, na posição indicada, os campos produzidos em *P* por i_1 e i_2 devem ser:

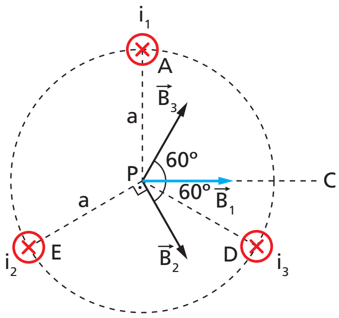


Para que isso ocorra, i_1 deve sair do plano da figura e i_2 deve entrar no plano da figura.



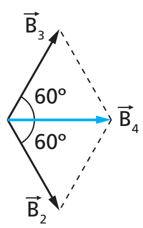
Portanto, nas duas posições a agulha deve ficar na direção do eixo *y*, com polo norte para cima.
Resposta: *a*.

12.



$\vec{B}_1$ é perpendicular a $\overline{AP}$.
$\vec{B}_2$ é perpendicular a $\overline{EP}$.
$\vec{B}_3$ é perpendicular a $\overline{PD}$.
$i_1 = i_2 = i_3 = i = 10$ A
$a = 2{,}0$ cm $= 2{,}0 \cdot 10^{-2}$ m

$$B_1 = B_2 = B_3 = \frac{\mu_0 i}{2\pi a} = \frac{(4\pi \cdot 10^{-7})(10)}{(2\pi)(2{,}0 \cdot 10^{-2})}\ \text{T} =$$
$$= 1{,}0 \cdot 10^{-4}\ \text{T}$$



$\vec{B}_4$ é resultante de $\vec{B}_3$ e $\vec{B}_2$.
Para achar o módulo de $\vec{B}_4$, podemos usar a lei dos cossenos ou então lembrar um resultado visto no estudo dos vetores (volume 1 desta coleção): dois vetores de mesmo módulo, formando ângulo de 120°, têm como resultante um vetor de mesmo módulo dos originais.

Assim:

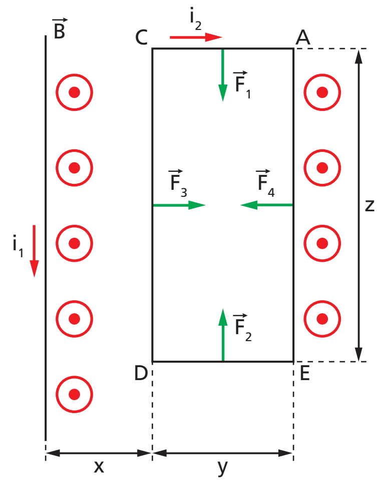
$B_4 = B_1 = B_2 = B_3$

Portanto, o campo resultante $\vec{B}$ tem a mesma direção e sentido de $\vec{B}_1$ e módulo dado por:
$B = 2B_1 = 2(1{,}0 \cdot 10^{-4}\ \text{T}) \Rightarrow B = 2{,}0 \cdot 10^{-4}$ T

13. c

14. 3

15. $x = 2{,}0$ cm $= 2{,}0 \cdot 10^{-2}$ m
$y = 4{,}0$ cm $= 4{,}0 \cdot 10^{-2}$ m
$z = 8{,}0$ cm $= 8{,}0 \cdot 10^{-2}$ m



Nos trechos $\overline{CA}$ e $\overline{DE}$ as forças têm sentidos opostos e mesmo módulo ($F_1 = F_2$). Portanto, essas forças se cancelam.

$$F_3 = \frac{\mu_0 i_1 i_2 z}{2\pi x}\ ;\ F_4 = \frac{\mu_0 i_1 i_2 z}{2\pi(x + y)}$$

$$F = F_3 - F_4 = \frac{\mu_0 i_1 i_2 z}{2\pi}\left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x + y}\right) \quad (1)$$

$$\frac{1}{x} - \frac{1}{x + y} = \frac{1}{2{,}0 \cdot 10^{-2}} - \frac{1}{6{,}0 \cdot 10^{-2}} = \frac{1}{3{,}0 \cdot 10^{-2}}$$

Substituindo em (1):

$$F = \frac{(4\pi \cdot 10^{-7})(40)(10)(8{,}0 \cdot 10^{-2})}{2\pi} \cdot \frac{1}{3{,}0 \cdot 10^{-2}}$$

$F \cong 2{,}1 \cdot 10^{-4}$ T

16. 10 A

17. $B = \frac{\mu_0 i}{2R}\left(\frac{1}{\pi} + 1\right)$

18. $R = 5{,}0 \text{ cm} = 5{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$d = 15 \text{ cm} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$$B_2 = \frac{\mu_0 i_2}{2\pi d} = \frac{(\cancel{4}\pi \cdot 10^{-7})(9\pi)}{(\cancel{2}\pi)(15 \cdot 10^{-2})} \Rightarrow B_2 = 1{,}2\pi \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

$$B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{2R} = \frac{(4\pi \cdot 10^{-7})(4{,}0)}{(2)(5{,}0 \cdot 10^{-2})} \Rightarrow B_1 = 1{,}6\pi \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

$\vec{B}_1$ e $\vec{B}_2$ são perpendiculares.

$B^2 = B_1^2 + B_2^2 \Rightarrow B = 2{,}0\pi \cdot 10^{-5}$ T

19. a) O intervalo de tempo gasto por cada elétron para efetuar uma volta é:

$$\Delta t = \frac{2\pi R}{v}$$

Nesse intervalo de tempo, todos os *n* elétrons do feixe passam por uma seção reta do anel. Sendo *q* a carga de cada elétron, temos:

$$i = \frac{n|q|}{\Delta t} = \frac{n|q|}{\frac{2\pi R}{v}} = \frac{n|q|v}{2\pi R}$$

Portanto:

$$n = \frac{2\pi Ri}{|q| \cdot v} \cong \frac{2(3{,}14)(32)(0{,}12)}{(1{,}6 \cdot 10^{-19})(3 \cdot 10^{8})} \Rightarrow n \cong 5{,}0 \cdot 10^{11}$$

b) $B = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i}{d}$; $d = 1 \text{ cm} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

Tratando este caso como se fossem dois fios retilíneos paralelos, temos:

$$F = BiL = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{i}{d} \cdot i \cdot 2\pi R = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} i^2 R}{d}$$

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (0{,}12)^2 \cdot (32)}{10^{-2}} \text{ N}$$

$F \cong 5{,}8 \cdot 10^{-5}$ N

20. b

21. e

Capítulo 19 – Indução eletromagnética

Exercícios

1. a) 6,0 A

b) $U_e \cong 84{,}9$ V

$i_e \cong 4{,}2$ A

c) 12,5 Hz

d) 360 W

2. $4{,}0 \cdot 10^3$ Hz

3. c

4. a

5. d

6. e

7. 28 (04 + 08 + 16)

Exercícios complementares

8. d

9. e

10. c

11. a) $\cong 1{,}3 \cdot 10^{-5}$ V

b) $\cong 1{,}6 \cdot 10^{-2}$ A

12. d

13. $v = 0{,}10$ m/s; $\overline{FE} = \overline{CD} = \ell = 0{,}20$ m; $\overline{GH} = 0{,}50$ m

O campo está confinado à região GHNM, cujo lado GH mede 0,50 m. A distância inicial entre FE e a região do campo é 0,50 m. Como a velocidade é 0,10 m/s, concluímos que o lado FE começa a entrar na região do campo (fig. *a*) no instante t = 5,0 s e atinge o lado MN no instante t = 10 s (fig. *b*). Antes de t = 5 s não há variação de fluxo e, portanto, não há corrente.

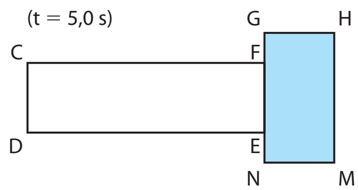


Figura a.

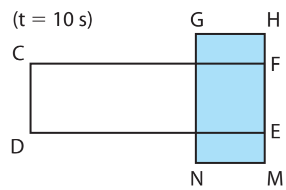


Figura b.

Entre t = 5,0 e t = 10 s, temos:

$$i_1 = \frac{E_1}{R} = \frac{B \cdot \ell \cdot v}{R} = \frac{B(0{,}20)(0{,}10)}{R} = 0{,}020\frac{B}{R} =$$

$= \text{constante}$

A partir do instante t = 10 s, o lado FE abandona o campo e o lado CD só atinge GN no instante t = 20 s (fig. *d*). Entre t = 10 s e t = 20 s (fig. *c*), o fluxo é constante e, portanto, não há corrente induzida.

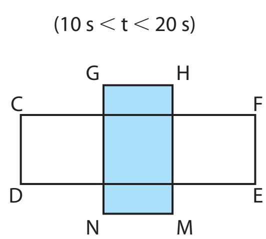


Figura c.

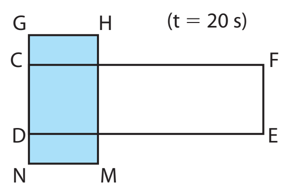
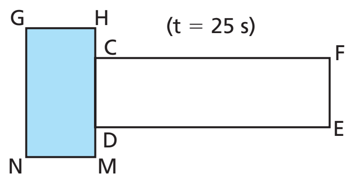


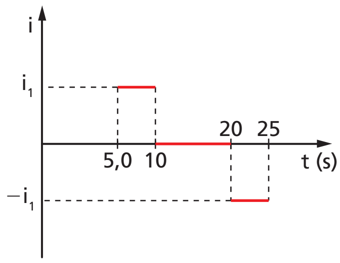
Figura d.

O lado CD atinge HM em t = 25 s. De t = 20 s a t = 25 s, o fluxo está variando e há uma corrente induzida i_2:

$$i_2 = \frac{E_2}{R} = \frac{B \cdot \ell \cdot v}{R} = \frac{B(0{,}20)(0{,}10)}{R} = 0{,}020\frac{B}{R}$$



Acontece que i_2 tem sentido oposto ao de i_1, pois para 5,0 s $\leqslant$ t $\leqslant$ 10 s o fluxo está aumentando, enquanto para 20 s $\leqslant$ t $\leqslant$ 25 s o fluxo está diminuindo. Assim, se considerarmos $i_1 > 0$, teremos $i_2 < 0$ e $i_2 = -i_1$. A partir de t = 25 s não há variação de fluxo e, portanto, i = 0.



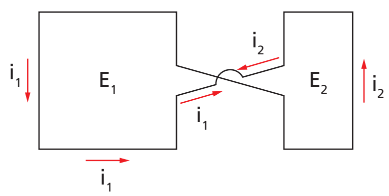
14. e

15. c

16. b

17. $A_1 = (2{,}0\ m)(2{,}0\ m) = 4{,}0\ m^2$
$A_2 = (1{,}0\ m)(2{,}0\ m) = 2{,}0\ m^2$
$\frac{\Delta B}{\Delta t} = 6{,}0\ T/s$

O campo magnético $\vec{B}$ tem sentido entrando no plano da figura. Um aumento de B provoca aumento de fluxo. Assim, em cada espira aparece uma corrente induzida que produz campo cujo sentido é para fora do plano da figura. Para que isso ocorra, em cada espira deveria ser produzida uma corrente de sentido anti-horário, indicadas por i_1 e i_2 na figura a seguir, correspondentes às forças eletromotrizes E_1 e E_2.

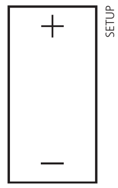


Mas essas correntes, em relação ao circuito inteiro, têm sentidos opostos, como podemos verificar no trecho central. Assim, a força eletromotriz resultante (E) será dada pela diferença entre E_1 e E_2.

$$E_1 = \frac{\Delta\phi_1}{\Delta t} = \frac{(\Delta B)A_1}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot A_1 =$$
$$= (6{,}0\ T/s)(4{,}0\ m^2) = 24\ V$$
$$E_2 = \frac{\Delta\phi_2}{\Delta t} = \frac{(\Delta B)A_2}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot A_2 =$$
$$= (6{,}0\ T/s)(2{,}0\ m^2) = 12\ V$$
$$E = E_1 - E_2 = 24\ V - 12\ V = 12\ V$$
$$i = \frac{E}{R} = \frac{12\ V}{4{,}0\ \Omega} \Rightarrow i = 3{,}0\ A$$

Resposta: *d*.

18. $1{,}0 \cdot 10^{-2}$ V



19. c

20. a) 5 A

b) $2 \cdot 10^{-3}$ V

21. a) 2,4 V

b) D

22. b

23. $E_i = BLv = (0{,}5\ T)(1{,}0\ m)(20\ m/s) \Rightarrow E_i = 10\ V$
Resposta: *e*.

24. $BiL = mg \Rightarrow (0{,}5)(i)(1{,}0) = (2{,}0)(10) \Rightarrow i = 40\ A$
Como E_T é a força eletromotriz total no circuito, temos:
$E_T = Ri = (1\ \Omega)(40\ A) \Rightarrow E_T = 40\ V$
$E_T = E + E_i \Rightarrow 40 = E + 10$
$E = 30\ V$
Resposta: *c*.

Capítulo 20 – Teoria da Relatividade

Exercícios

1. $$f_0 = f\sqrt{\frac{c - v}{c + v}} = f\sqrt{\frac{c - 0{,}600c}{c + 0{,}600c}} = f\sqrt{\frac{0{,}400c}{1{,}600c}} =$$
$$= f\sqrt{\frac{1}{4}} = f \cdot \frac{1}{2} = \frac{f}{2} = \frac{4{,}57 \cdot 10^{14}\ Hz}{2}$$
$$f \cong 2{,}28 \cdot 10^{14}\ Hz$$

2. $f = 6{,}00 \cdot 10^{14}$ Hz; $f_0 = 4{,}50 \cdot 10^{14}$ Hz

$f_0 < f \Rightarrow$ afastamento

$$f_0 = f\sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \Rightarrow 4{,}5 \cdot 10^{14} = 6{,}00 \cdot 10^{14}\sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} = \frac{3}{4} \Rightarrow \frac{c-v}{c+v} = \frac{9}{16} \Rightarrow$$

$\Rightarrow 9c + 9v = 16c - 16v \Rightarrow$

$\Rightarrow 25v = 7c \Rightarrow v = \frac{7}{25}c = \frac{7}{25}(3{,}0 \cdot 10^8 \text{ m/s})$

$v = 8{,}4 \cdot 10^7$ m/s

3. $f = 20$ GHz $= 20 \cdot 10^9$ Hz $= 2{,}0 \cdot 10^{10}$ Hz

$f' = f + 4\,000$ Hz $\Rightarrow f' - f = 4\,000$ Hz $= 4{,}0 \cdot 10^3$ Hz

$$v \cong \frac{f'-f}{2f}c = \frac{4{,}0 \cdot 10^3}{2(2{,}0 \cdot 10^{10})}(3{,}0 \cdot 10^8)$$

$v \cong 30$ m/s $= 108$ km/h

4. $f = 5{,}00 \cdot 10^{14}$ Hz; $f_0 = 6{,}12 \cdot 10^{14}$ Hz

$$f_0 = f\sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \Rightarrow 6{,}12 \cdot 10^{14} =$$

$$= 5{,}00 \cdot 10^{14}\sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} \cong 1{,}22 \Rightarrow \frac{c+v}{c-v} \cong 1{,}5 \Rightarrow$$

$\Rightarrow c + v = 1{,}5c - 1{,}5v \Rightarrow 2{,}5v = 0{,}5c \Rightarrow$

$\Rightarrow v = 0{,}2c = (0{,}2)(3{,}0 \cdot 10^8 \text{ m/s})$

$v = 6{,}0 \cdot 10^7$ m/s

Exercícios complementares

5. e

6. d

7. $$\Delta t_A = \left(\frac{\Delta t_R}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right) \text{ e } \Delta t_A = 2\Delta t_R$$

Portanto:

$$2\Delta t_R = \frac{\Delta t_R}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{2} \Rightarrow 1-\frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{v^2}{c^2} = \frac{3}{4} \Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cong \frac{1{,}73}{2} = 0{,}87 \Rightarrow$$

$\Rightarrow v \cong (0{,}87)c \Rightarrow v = 87\%$ de c

Resposta: *b*.

8. a) $\Delta t = \gamma(\Delta t') \Rightarrow \frac{\Delta t}{\Delta t'} = \gamma$ (1)

$\Delta t = \Delta t' + 0{,}5\%$ de $\Delta t' = \Delta t' + 0{,}005\Delta t'$

$\Delta t = 1{,}005(\Delta t')$ (2)

De (1) e (2): $\gamma = 1{,}005$

De acordo com a tabela, temos:

$u = 0{,}100c = (0{,}100)(3{,}0 \cdot 10^8 \text{ m/s})$

$u = 3{,}0 \cdot 10^7$ m/s

b) $\Delta t' = 10$ min

$u = 0{,}600c \Rightarrow \gamma = 1{,}250$

$\Delta t = \gamma(\Delta t') = (1{,}250)(10 \text{ min}) \Rightarrow \Delta t = 12{,}5$ min $=$

$= 12$ min 30 s

9. $\Delta t = 60$ anos; $\Delta t' = 20$ anos

$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t' \Rightarrow 60 = \gamma \cdot 20 \Rightarrow \gamma = 3$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = 3 \Rightarrow \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{3} \Rightarrow 1-\frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{9} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{v^2}{c^2} = \frac{8}{9} \Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{\sqrt{8}}{3} = \frac{2\sqrt{2}}{3} \Rightarrow v = \frac{2\sqrt{2}}{3}c$$

Resposta: *a*.

10. $$\frac{v}{c} = \frac{0{,}8c}{c} = 0{,}8 \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} = 0{,}64$$

Como L_0 é a aresta do cubo, temos:

$V_0 = L_0^3$

A contração de comprimento ocorre apenas para a aresta paralela ao eixo *x*.

$$L_x = L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = L_0\sqrt{1-0{,}64} = 0{,}6L_0$$

$V = L_0^2 \cdot L_x = L_0^2(0{,}6L_0) = 0{,}6L_0^3$

$V = 0{,}6V_0$

11. b

12. Todas são verdadeiras.

13. a

14. 03 (01 + 02)

15. $$\frac{v}{c} = \sqrt{\frac{15}{16}} \Rightarrow \frac{v^2}{c^2} = \frac{15}{16} \Rightarrow 1-\frac{v^2}{c^2} = 1-\frac{15}{16} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1-\frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{16} \Rightarrow \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = 4$$

$E_0 = Mc^2$

$$E_c = K = Mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right) = Mc^2(4-1) =$$

$= 3Mc^2 = 3E_0$

Resposta: *c*.

16. $m_0 = 1{,}0$ kg; $v = 100$ m/s $= 10^2$ m/s

Como $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ e observando que $v << c$, podemos usar a aproximação vista na teoria:

$$\gamma \cong 1 + \frac{v^2}{2c^2}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma m_0$$

$$\Delta m = m - m_0 = \gamma m_0 - m_0 =$$

$$= m_0(\gamma - 1) \cong m_0\left(1 + \frac{v^2}{2c^2} - 1\right) \cong$$

$$\cong \frac{m_0 v^2}{2c^2} \cong \frac{(1)(10^2)^2}{2(3{,}0 \cdot 10^8)^2}$$

$\Delta m \cong 5{,}5 \cdot 10^{-14}$ kg

Resposta: *d*.

17. d

Capítulo 21 – Mecânica Quântica

Exercícios complementares

1. c

2. $c = \lambda f = \lambda_1 f_1 = \lambda_2 f_2 \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{f_2}{f_1}$ (1)

$\lambda_1 = \frac{1}{4}\lambda_2 \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{1}{4}$ (2)

De (1) e (2):

$\frac{f_2}{f_1} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{hf_2}{hf_1} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{4} \Rightarrow E_1 = 4E_2$

Resposta: *a*.

3. $\lambda = 6\,000$ Å $= 6\,000 \cdot 10^{-10}$ m $= 6{,}0 \cdot 10^{-7}$ m

$c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{6{,}0 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow f = 5{,}0 \cdot 10^{14}$ Hz

$E_0 = hf = (6{,}6 \cdot 10^{-34})(5{,}0 \cdot 10^{14}) \Rightarrow E_0 = 3{,}3 \cdot 10^{-19}$ J

$E = NE_0 \Rightarrow N = \frac{E}{E_0} = \frac{10^{-18}}{3{,}3 \cdot 10^{-19}} \Rightarrow N \cong 3$

4. $E = hf = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

A potência necessária para sensibilizar a retina é:

$P = \frac{400E}{\Delta t} = \frac{400}{\Delta t} \cdot \frac{hc}{\lambda}$ (1)

A intensidade *I* é dada por:

$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi r^2}$ (2)

De (1) e (2): $I = \frac{400hc}{\pi \cdot \lambda \cdot \Delta t \cdot r^2}$ (3)

A intensidade a uma distância *d* da fonte é:

$I = \frac{P_f}{4\pi \cdot d^2}$ (4)

De (3) e (4):

$$\frac{400hc}{\pi \cdot \lambda \cdot \Delta t \cdot r^2} = \frac{P_F}{4\pi \cdot d^2}$$

ou: $d^2 = \frac{\lambda \cdot \Delta t \cdot r^2 \cdot P_F}{1600\ hc}$ (5)

Como Δt, *r*, P_F, *h* e *c* são constantes, concluímos de (5) que: quanto maior λ, maior *d*. Como o comprimento de onda da luz vermelha é maior que o da azul, a fonte vermelha será vista a uma distância maior que a fonte azul.

5. $c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$

$f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{3{,}3 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow f_1 = 9{,}1 \cdot 10^{14}$ Hz

$f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{6{,}6 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow f_2 = 4{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz

$E_0 = hf = \frac{hc}{\lambda}$

$E_{0_1} = \frac{(6{,}6 \cdot 10^{-34})(3{,}0 \cdot 10^8)}{3{,}3 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow E_{0_1} = 6{,}0 \cdot 10^{-19}$ J

$E_{0_2} = \frac{(3{,}3 \cdot 10^{-34})(3{,}0 \cdot 10^8)}{3{,}3 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow E_{0_2} = 3{,}0 \cdot 10^{-19}$ J

a) $P = 2{,}0 \cdot 10^2$ W; $\Delta t = 1$ s
$E = P \cdot (\Delta t) = (2{,}0 \cdot 10^2\ W)(1\ s) \Rightarrow E = 2{,}0 \cdot 10^2$ J
$E = NE_{0_1} \Rightarrow N = \frac{E}{E_{0_1}} = \frac{2{,}0 \cdot 10^2}{6{,}0 \cdot 10^{-19}} \Rightarrow N = 3{,}3 \cdot 10^{20}$

b) Como $f_1 > f_2$, isso indica que f_2 é menor que a frequência de corte.

c) Não, pois o que interessa é a frequência.

6. Os elétrons não saem todos com a mesma velocidade. Assim, o que podemos calcular é a velocidade máxima.

f_0 = frequência de corte

$\tau_0 = hf_0$; $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$

$E_{C_{máx}} = E - \tau_0 = \frac{hc}{\lambda} - hf_0$ (1)

$E_{C_{máx}} = \frac{mv^2_{máx}}{2}$ (2)

De (1) e (2):

$\frac{mv^2_{máx}}{2} = \frac{hc}{\lambda} - hf_0 \Rightarrow v_{máx} = \sqrt{\frac{2h(c - f_0\lambda)}{m\lambda}}$

7. $c = \lambda_c \cdot f_c \Rightarrow f_c = \frac{c}{\lambda_c} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8\ m/s}{3{,}3 \cdot 10^{-7}\ m} \Rightarrow f_c = 9{,}1 \cdot 10^{14}$ Hz

$\tau_0 = hf_c = (6{,}6 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s)(9{,}1 \cdot 10^{14}\ Hz) \cong$
$\cong 6{,}0 \cdot 10^{-19}$ J

τ_0 é o trabalho mínimo, que corresponde ao trabalho para arrancar os elétrons mais superficiais. Para arrancar elétrons mais profundos, o trabalho é maior.

(01) Falsa.
(02) Falsa.
(04) Verdadeira.
$E_{C_{máx}} = hf - \tau_0$
(08) Falsa.
Resposta: 04.

8. $\lambda_1 = 6{,}2 \cdot 10^{-7}\ m \Rightarrow f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{6{,}2 \cdot 10^{-7}} \cong 4{,}8 \cdot 10^{14}\ Hz$

$P_1 = 150\ W$

$\lambda_2 = 3{,}9 \cdot 10^{-7}\ m \Rightarrow f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{3{,}9 \cdot 10^{-7}} \cong 7{,}7 \cdot 10^{14}\ Hz$

$P_2 = 15\ W$

$f_c = 6{,}0 \cdot 10^{14}\ Hz$

Como $f_1 < f_c < f_2$ apenas a luz de frequência f_2 (violeta) consegue arrancar elétrons do lítio, independentemente da potência.

(01) Verdadeira.

(02) Falsa.

(04) Falsa. Os elétrons não são ejetados todos com a mesma energia cinética. A energia cinética máxima não é proporcional a f, pois: $E_{C_{máx}} = hf - \mathcal{T}_0$

(08) Falsa. Quanto maior o comprimento de onda, menor a frequência e menor a energia cinética máxima.

(16) Verdadeira.

$$f_3 = \frac{c}{\lambda_3} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{4{,}6 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow f_3 = 6{,}5 \cdot 10^{14}\ Hz$$

$f_3 > f_c \Rightarrow$ há emissão de elétrons

(32) Verdadeira. A intensidade de corrente é proporcional à intensidade da radiação. Assim, em um mesmo intervalo de tempo, como 60 W é 4(15 W), a intensidade da corrente com 60 W é 4 vezes a intensidade da corrente com 15 W.

(64) Falsa. A luz vermelha não consegue arrancar elétrons.

Resposta: 49 (01 + 16 + 32).

9. O valor de h não foi dado. Assim, vamos resolver o problema sem usar o valor que conhecemos para h.

$K = hf - \phi \Rightarrow K + \phi = hf$

$$\begin{cases} 3{,}0 + \phi = h(7{,}5 \cdot 10^{14}) \\ 2{,}0 + \phi = h(6{,}0 \cdot 10^{14}) \end{cases}$$

Dividindo membro a membro as duas equações:

$$\frac{3{,}0 + \phi}{2{,}0 + \phi} = \frac{7{,}5}{6{,}0} = \frac{5}{4} \Rightarrow 10 + 5\phi = 12 + 4\phi$$

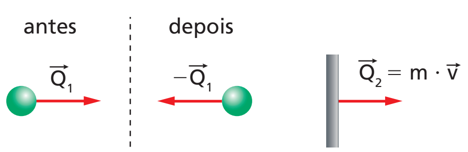
$\phi = 2{,}0\ eV$

Resposta: *d*.

10. Se $f < f_0$, com a fonte em repouso não haverá emissão. Mas se a fonte estiver se aproximando, f pode superar f_0 (efeito Doppler), e haverá emissão de elétrons.

Resposta: *e*.

11.



$$\vec{Q}_1 = \vec{Q}_2 - \vec{Q}_1 \Rightarrow \vec{Q}_2 = 2\vec{Q}_1 \Rightarrow Q_2 = 2Q_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_2 = 2 \cdot \frac{E}{c} \Rightarrow mv = 2\frac{E}{c} \Rightarrow v = \frac{2E}{mc}$$

Aplicando a conservação da energia mecânica para a subida do espelho:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh \Rightarrow h = \frac{v^2}{2g} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h = \frac{1}{2g} \cdot \left(\frac{2E}{mc}\right)^2 \Rightarrow h = \frac{2E^2}{gm^2c^2}$$

12. a

13. a) $2{,}9 \cdot 10^{15}\ Hz$

b) $1{,}02 \cdot 10^{-7}\ m$

14. c

15. b

16. b

17. A frequência diminui na sequência: violeta, anil, azul, vermelho. Portanto, como a energia é proporcional à frequência (E = hf), as transições correspondentes à sequência de cores são: *d*, *c*, *b* e *a*.

18. a

19. $\left.\begin{matrix} E_3 - E_2 = x \\ E_2 - E_1 = 2x \end{matrix}\right\} \Rightarrow E_3 - E_1 = 3x$

$\left.\begin{matrix} E = hf \\ c = \lambda f \end{matrix}\right\} \Rightarrow \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow \lambda E = ch$ 1

$\lambda_2 = 600\ nm$

De acordo com a equação 1:

$\lambda_1(E_2 - E_1) = \lambda_2(E_3 - E_2) \Rightarrow \lambda_1(2x) = (600)(x) \Rightarrow$

$\Rightarrow \lambda_1 = 300\ nm$

Ainda de acordo com a equação 1:

$\lambda_2(E_3 - E_2) = \lambda_3(E_3 - E_1) \Rightarrow (600)(x) = \lambda_3 \cdot (3x) \Rightarrow$

$\Rightarrow \lambda_3 = 200\ nm$

20. $c = 3{,}0 \cdot 10^8\ m/s$

$\lambda = 590\ nm = 590 \cdot 10^{-9}\ m = 5{,}9 \cdot 10^{-7}\ m$

$\left.\begin{matrix} E = hf \\ c = \lambda f \end{matrix}\right\} \Rightarrow \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow E = \frac{ch}{\lambda}$

$$E = \frac{(3{,}0 \cdot 10^8\ m/s)(4{,}1 \cdot 10^{-15}\ eV \cdot s)}{5{,}9 \cdot 10^{-7}\ m}$$

$E \cong 2{,}1\ eV$

21. b

22. d

23. Em primeiro lugar vamos verificar a origem da equação apresentada pelo examinador.
No LHC, os prótons têm velocidades muito próximas da velocidade da luz e, assim, devemos usar a Teoria da Relatividade.
No capítulo anterior, vimos que:
$E^2 = Q^2c^2 + m_0^2c^4$
Como a velocidade do próton é muito grande, o termo Q^2c^2 é muito maior que $m_0^2c^4$. Assim, temos:
$$E^2 \cong Q^2c^2 \Rightarrow E \cong Qc \Rightarrow Q \cong \frac{E}{c}$$
Portanto:
$$\lambda = \frac{h}{Q} \cong \frac{h}{\frac{E}{c}} \Rightarrow \lambda \cong \frac{hc}{E} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \lambda \cong \frac{(4 \cdot 10^{-15}\ eV \cdot s)(3 \cdot 10^8\ m/s)}{7 \cdot 10^{12}\ eV} \Rightarrow \lambda \cong 1{,}7 \cdot 10^{-19}\ m$$

24. 12 (04 + 08)

25. Para o caso apresentado, o comprimento de onda do elétron é:
$$\lambda \cong \frac{1{,}2}{\sqrt{E}}\ nm = \frac{1{,}2}{\sqrt{40\,000}}\ nm = \frac{1{,}2}{200}\ nm \Rightarrow \lambda = 0{,}006\ nm$$
Como $0{,}006 < 0{,}01$, o comprimento de onda dos elétrons é menor que o comprimento de onda dos raios X, permitindo a observação de objetos menores.

26. A estudante violou o Princípio da Incerteza, pois as posições e as velocidades foram medidas com exatidão; a Teoria da Relatividade, pois apresenta uma partícula com velocidade superior à da luz (2c); a conservação da quantidade de movimento (momento linear), pois, após a colisão, há uma quantidade de movimento na direção *y* que não havia antes.
Resposta: *b*.

Capítulo 22 – Partículas elementares e Física Nuclear

Exercícios complementares

1. $\lambda = \frac{\ell n\ 2}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{0{,}693}{1600\ anos}$

$m_0 = 200\ mg$; $m = m_0 \cdot e^{-\lambda t}$; $t = 320\ anos$

$$-\lambda t = -\frac{0{,}693}{1600\ anos}(320\ anos) \cong 0{,}1386$$

$$e^{-\lambda t} = e^{-0{,}1386} = \frac{1}{e^{0{,}1386}} = 0{,}87$$

$m = m_0 \cdot e^{-\lambda t} = (200\ mg)(0{,}87) \Rightarrow m = 174\ mg$

2. $N = N_0e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \ell n\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t \Rightarrow t = \left(-\frac{1}{\lambda}\right) \cdot \ell n\left(\frac{N}{N_0}\right)$$

Resposta: *d*.

3. Na emissão β^+ um próton se transforma em nêutron, isto é, o número de prótons diminui uma unidade e o de nêutrons aumenta uma unidade.
Resposta: *e*.

4. b

5. b

6. a) No gráfico percebemos que a atividade se reduz à metade (50) após, aproximadamente, 75 dias. Portanto: $T_{\frac{1}{2}} \cong 75$ dias

$$20\% \xrightarrow{T_{\frac{1}{2}}} 10\% \xrightarrow{T_{\frac{1}{2}}} 5\%$$

$$\Delta t = 2 \cdot T_{\frac{1}{2}} \cong 2(75\ dias) \Rightarrow \Delta t \cong 150\ dias$$

b) Como o número de massa (192) não se alterou, deve ter sido decaimento beta.

7. d

8. a

9. $E_0 = 200$ milhões de eV $= 200$ MeV
4,7 kg = 4 700 g
Sendo *n* o número de mols de átomos de urânio-235, temos:
$$N = \frac{4\,700\ g}{235\ g/mol} = 20\ mols$$
O número de núcleos é:
$N = nN_A = (20)(6 \cdot 10^{23}) = 1{,}2 \cdot 10^{25}$
Assim, a energia total liberada é:
$E = N \cdot E_0 = (1{,}2 \cdot 10^{25})(200\ MeV) = 2{,}4 \cdot 10^{27}\ MeV \Rightarrow$
$\Rightarrow E = 2{,}4 \cdot 10^{33}\ eV = (2{,}4 \cdot 10^{33})(1{,}6 \cdot 10^{-19})\ J =$
$= 3{,}84 \cdot 10^{14}\ J$
$P = 1\ MW = 1 \cdot 10^6\ W$
$$P = \frac{E}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{E}{P} = \frac{3{,}84 \cdot 10^{14}}{1{,}10^6\ W} = 3{,}84 \cdot 10^8\ s$$
Como 1 ano = 32 milhões de segundos $= 32 \cdot 10^6\ s =$ $= 3{,}2 \cdot 10^7\ s$, o tempo que duraria a energia *E* é:
$$\Delta t' = \frac{3{,}84 \cdot 10^8\ s}{3{,}2 \cdot 10^7\ s/ano} \Rightarrow \Delta t' = 12\ anos$$

10. $T = \frac{2{,}1 \cdot 10^9}{\sqrt{t}} \Rightarrow \sqrt{t} = \frac{2{,}1 \cdot 10^9}{T} =$

$$= \frac{2{,}1 \cdot 10^9}{3} = 0{,}7 \cdot 10^9 \Rightarrow$$

$\Rightarrow t = 0{,}49 \cdot 10^{18}\ s = 4{,}9 \cdot 10^{17}\ s \Rightarrow$

$$\Rightarrow t = \frac{4{,}9 \cdot 10^{17}\ s}{3{,}2 \cdot 10^7\ s/ano} \Rightarrow$$

$\Rightarrow t \cong 1{,}5 \cdot 10^{10}\ anos \cong 15 \cdot 10^9\ anos \Rightarrow$
$\Rightarrow t \cong 15$ bilhões de anos

Resposta: *c*.