CIÊNCIAS DA NATUREZA
E SUAS TECNOLOGIAS

FÍSICA

MANUAL DO CADERNO

HEXA 2

Caro(a) leitor(a),

Este manual é uma importante ferramenta para a utilização dos cadernos de sala do Poliedro Sistema de Ensino voltados para as turmas de 3ª série do Ensino Médio e de Pré-Vestibular.

Aqui, disponibilizamos as resoluções das questões presentes na seção “Exercícios de sala” e dos exercícios opcionais (quando for o caso) – que são uma oportunidade para aprofundar e complementar o conteúdo das aulas.

Os cadernos possibilitam uma prática efetiva do aprendizado em sala e, quando utilizados em consonância com a fundamentação teórica contida nos livros de teoria, oferecem uma formação ainda mais ampla e completa.

Os temas de abertura dos capítulos e os textos da seção “Texto complementar” dos livros podem ser usados como pontos de partida para discussões em aula e como fonte de conhecimento e curiosidades acerca dos assuntos da teoria.

Além disso, indicamos o acesso a diversos recursos disponíveis na Plataforma Poliedro e no portal do Sistema Poliedro (www.sistemapoliedro.com.br), os quais complementam o caderno e ampliam as possibilidades de aprendizado, tais como:

- resoluções das questões dos livros;
- informativo mensal Leia Agora;
- balcão de Redação PV;
- balcão de Redação Enem.

Todas essas ferramentas buscam garantir a formação do estudante e o rigor acadêmico almejado pelas escolas associadas. Vale ressaltar que o professor se mantém protagonista da prática pedagógica, tendo total autonomia na utilização dos recursos oferecidos.

Esperamos que todo o material disponibilizado seja explorado e estamos à disposição para quaisquer esclarecimentos.

Poliedro Sistema de Ensino

Sumário

FRENTE 1 — AULA 10

Definir o conceito de direção e o de sentido de uma reta e estabelecer a diferença entre grandezas escalares e grandezas vetoriais.

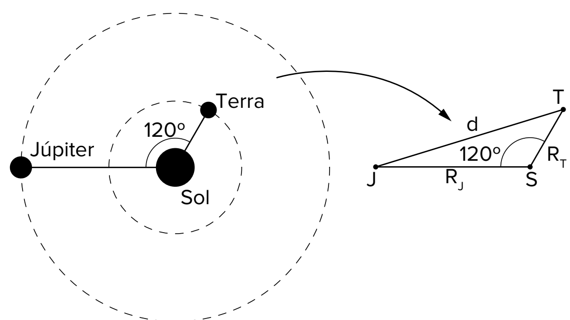
Apresentar os conceitos de vetor, vetor oposto, vetor nulo, vetor unitário e vetores iguais.

Expor a adição de vetores pela regra da poligonal, pela regra do paralelogramo e pelo método de decomposição de vetores. Abordar a aplicação da lei dos cossenos e da lei dos senos para a obtenção do módulo do vetor resultante e do ângulo entre vetores, bem como a subtração de vetores e a multiplicação de um vetor por um número real.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. **D**

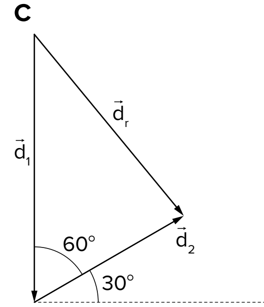


$$d^2 = R_J^2 + R_T^2 - 2R_J \cdot R_T \cdot \cos 120°$$

$$d^2 = R_J^2 + R_T^2 - 2R_J \cdot R_T \cdot \left(\frac{-1}{2}\right)$$

$$d = \sqrt{R_J^2 + R_T^2 + R_J \cdot R_T}$$

2. **C**



$$\vec{d}_1 = -10\hat{j}$$

$$\vec{d}_2 = 6 \cdot \cos 30°\,\hat{i} + 6 \cdot \text{sen } 30°\,\hat{j}$$

$$\vec{d}_2 = 6\frac{\sqrt{3}}{2}\,\hat{i} + 3\,\hat{j}$$

$$\vec{d}_r = \vec{d}_1 + \vec{d}_2 = \frac{6\sqrt{3}}{2}\,\hat{i} - 7\,\hat{j}$$

$$|\vec{d}_r| = \sqrt{\frac{36 \cdot 3}{4} + 49} = \sqrt{27 + 49} = \sqrt{76}$$

$$|\vec{d}_r| = 2\sqrt{19}\text{ km}$$

FRENTE 1 — AULA 11

Definir o vetor posição, o vetor deslocamento, a velocidade vetorial média, a velocidade vetorial instantânea, a aceleração vetorial média e a aceleração vetorial instantânea. Abordar ainda a aceleração tangencial e a aceleração centrípeta.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

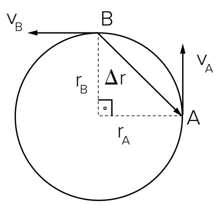
1. a) $\Delta s = 7 \cdot 100 \Rightarrow |\Delta s| = 700\ \text{m}$

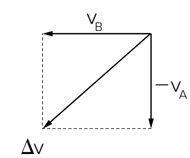
b) $|\Delta \vec{r}| = \sqrt{(4 \cdot 100)^2 + (3 \cdot 100)^2} \Rightarrow |\Delta \vec{r}| = 500\ \text{m}$

c) $v_m = \dfrac{\Delta s}{\Delta t} = \dfrac{700\ \text{m}}{100\ \text{s}} \Rightarrow |v_m| = 7\ \text{m/s}$

d) $|\vec{v}_m| = \dfrac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \dfrac{500\ \text{m}}{100\ \text{s}} \Rightarrow |\vec{v}_m| = 5\ \text{m/s}$

2.





a) $T = \dfrac{2\pi}{\omega} = \dfrac{2\pi}{1\ \text{rad/s}} = 2\pi\ \text{s} \Rightarrow \dfrac{T}{4} = \dfrac{1}{4} \cdot 2\pi\ \text{s}$

$\dfrac{T}{4} = \dfrac{\pi}{2}\ \text{s}$

b) $|\Delta \vec{r}| = \sqrt{|\vec{r}_A|^2 + |\vec{r}_B|^2} = \sqrt{2{,}5^2 + 2{,}5^2}$

$|\Delta \vec{r}| = 2{,}5\sqrt{2}\ \text{m}$

c) $|\vec{v}_m| = \dfrac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t} = \dfrac{2{,}5\sqrt{2}}{\frac{\pi}{2}} \Rightarrow |\vec{v}_m| = \dfrac{5\sqrt{2}}{\pi}\ \text{m/s}$

d) $a_{cp} = \omega^2 \cdot R = 1^2 \cdot 2{,}5 \Rightarrow a_{cp} = 2{,}5\text{m/s}^2$

e) $v = \omega \cdot R = 1 \cdot 2{,}5 \Rightarrow v = 2{,}5\ \text{m/s}$

$\Delta \vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_A \Rightarrow |\Delta \vec{v}| = 2{,}5\sqrt{2}\ \text{m/s}$

$|\vec{a}_m| = \dfrac{|\Delta \vec{v}|}{\Delta t} = \dfrac{2{,}5\sqrt{2}}{\frac{\pi}{2}} \Rightarrow |\vec{a}_m| = \dfrac{5\sqrt{2}}{\pi}\ \text{m/s}^2$

Apresentar aos estudantes a composição de movimentos. Explicar a relação entre deslocamentos vetoriais e entre acelerações vetoriais. Aproveitar para expor esses conceitos por meio dos exercícios.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. **D**

Como os vetores velocidade têm mesma direção e mesmo sentido, o módulo da resultante é a soma dos módulos das velocidades (5,5 m/s). A componente vertical do vetor velocidade é, então:

$v_v = v \cdot \text{sen}\,45°$

$v_v = 5{,}5 \cdot \dfrac{\sqrt{2}}{2}$

$v_v \cong 3{,}8$ m/s

2. a) A velocidade da criança em relação ao solo é a própria velocidade da bicicleta: 4 m/s.

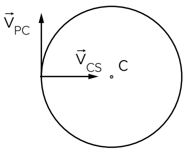
b) Como a bicicleta não escorrega, então o ponto da bicicleta em contato com o solo (ponto Q) está parado em relação a este: $v_Q = 0$.

c) Para não haver escorregamento:

$v = \omega \cdot R \Rightarrow 4 = \omega \cdot 0{,}25 \Rightarrow \omega = 16$ rad/s

$T = \dfrac{2\pi}{\omega} = \dfrac{2\pi}{16} \Rightarrow T = \dfrac{\pi}{8}$ s

d) A velocidade da pedrinha no ponto P em relação à criança é igual à velocidade da pedrinha em relação ao centro do pneu:



$\left|\vec{v}_{\text{PNEU-CENTRO}}\right| = \left|\vec{v}_{PC}\right| = \omega \cdot R = v$

$\left|\vec{v}_{PC}\right| = 4$ m/s

e) $\vec{v}_{PS} = \vec{v}_{PC} + \vec{v}_{CS}$

$\left|\vec{v}_{PS}\right| = \sqrt{\left|\vec{v}_{PC}\right|^2 + \left|\vec{v}_{CS}\right|^2} = \sqrt{4^2 + 4^2}$

$\left|\vec{v}_{PS}\right| = 4\sqrt{2}$ m/s

Definir lançamento oblíquo e apresentar a decomposição do movimento oblíquo em um movimento vertical e em um movimento horizontal. Para o movimento vertical, estabelecer a função horária do espaço, a função horária da velocidade e a equação de Torricelli. Expor a função horária do espaço e a função horária da velocidade para o movimento horizontal. Deduzir os cálculos de tempo de subida, altura máxima e alcance para um lançamento oblíquo, bem como a equação da trajetória de um lançamento oblíquo.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. a) Na altura máxima: $v_y = 0$.

$v_y = v_{0y}\ 2\ g \cdot t_s = v_0 \cdot \text{sen}\,\theta - g \cdot t_s$

$0 = 40 \cdot \text{sen}\,30° - 10 \cdot t_s$

$0 = 40 \cdot \dfrac{1}{2} - 10 \cdot t_s$

$t_s = 2\ \text{s}$

b) $v_y^2 = v_{0y}^2 - 2 \cdot g \cdot h_{máx}$

$0^2 = 20^2 - 2 \cdot 10 \cdot h_{máx}$

$h_{máx} = 20\ \text{m}$

c) $T_T = 2 \cdot t_s \Rightarrow T_T = 4\ \text{s}$

d) $A = \dfrac{v_0^2 \cdot \text{sen}\,2\theta}{g} = \dfrac{40^2 \cdot \text{sen}\,60°}{10}$

$A = \dfrac{1600}{10} \cdot \dfrac{\sqrt{3}}{2}$

$A = 80\sqrt{3}\ \text{m}$

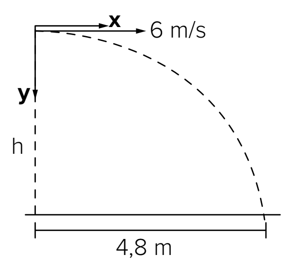
e) A velocidade em *x* é constante. Logo, a velocidade é mínima quando $v_y = 0$, portanto:

$|\vec{v}| = v_x = v_0 \cdot \cos\theta$

$|\vec{v}|_{mín} = 40 \cdot \cos 30°$

$|\vec{v}|_{mín} = 20\sqrt{3}\ \text{m/s}$

2.



a) Em *x*: $4{,}8 = 6t \Rightarrow t = 0{,}8\ \text{s}$

Em *y*: $h = \dfrac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = \dfrac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0{,}8^2 \Rightarrow h = 3{,}2\ \text{m}$

b) Para $t = 0{,}8$ s:

$v_x = 6\ \text{m/s}$

$v_y = g \cdot t = 10 \cdot 0{,}8 \Rightarrow v_y = 8\ \text{m/s}$

$|\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} \Rightarrow |\vec{v}| = 10\ \text{m/s}$

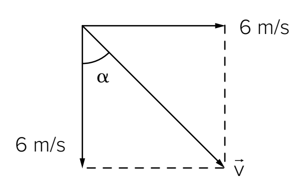
c) 0,2 s antes de atingir o solo:

$t = 0{,}8\ \text{s} - 0{,}2\ \text{s} = 0{,}6\ \text{s}$

$v_x = 6\ \text{m/s}$

$v_y = g \cdot t = 10 \cdot 0{,}6 \Rightarrow v_y = 6\ \text{m/s}$

$\text{tg}\,\alpha = \dfrac{6}{6} = 1 \Rightarrow \alpha = 45°$



3. Em *x*:

$$100\sqrt{3} = v_0 \cdot \cos 30^\circ \cdot t = v_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot t \Rightarrow v_0 \cdot t = 200$$

Em *y*:

$$20 = v_0 \cdot \operatorname{sen} 30^\circ \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 =$$

$$= v_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2$$

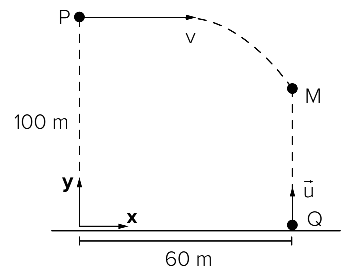
$$20 = \frac{1}{2} \cdot 200 - 5 \cdot t^2 \Rightarrow 5 \cdot t^2 = 100 - 20 = 80$$

$$t^2 = 16$$

a) $t = 4$ s

b) $v_0 \cdot 4 = 200 \Rightarrow v_0 = 50$ m/s

4.



No encontro:

$x_P = x_Q$ e $y_P = y_Q$, para $t = 4$ s.

a) $x_P = x_Q \Rightarrow v \cdot t = 60 \Rightarrow v \cdot 4 = 60 \Rightarrow v = 15$ m/s

b) $y_P = y_Q \Rightarrow 100 - 5t^2 = u \cdot t - 5t^2 \Rightarrow u \cdot t = 100$

$u \cdot 4 = 100 \Rightarrow u = 25$ m/s

c) $y_P = y_Q \Rightarrow 100 - 5 \cdot 4^2 = 100 - 80 \Rightarrow h_M = 20$ m

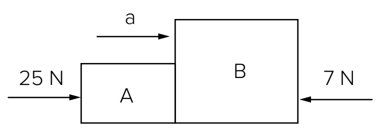
Estabelecer os conceitos de massa, força e resultante de forças, bem como a diferença entre forças de contato e forças de ação a distância. Formular a primeira, a segunda e a terceira lei de Newton na lousa. Abordar a diferença entre forças externas e forças internas.

Definir força peso, força normal e força de tração em fios ideais. Explicar como são resolvidos os exercícios clássicos: corpos em repouso, corpos em movimento sobre plano horizontal (ligados por fio ou em contato), corpos em movimento vertical (ligados por fio ou em elevador) e corpos em movimento sobre plano inclinado.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. a) Isolando o conjunto:

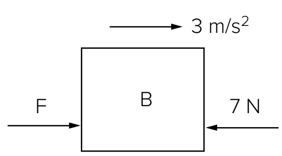


$F_R = m \cdot a \Rightarrow 25 - 7 = (2 + 4) \cdot a$

$18 = 6 \cdot a \Rightarrow a = 3\ m/s^2$

b) $F_{R,A} = m_A \cdot a_A \Rightarrow 2 \cdot 3 \Rightarrow F_{R,A} = 6\ N$

c) Isolando B:



$F_{R,B} = m_B \cdot a_B \Rightarrow F - 7 = 4 \cdot 3 \Rightarrow F = 19\ N$

2. a) Repouso: $a = 0$

No bloco A: $T_1 - P_A - T_2 = 0$

No bloco B: $T_2 - P_B = 0$

$T_1 = P_A + P_B \Rightarrow T_1 = 50\ N$

$T_2 = 20\ N$

b) No bloco A: $T_1 - P_A - T_2 = 3a$

No bloco B: $T_2 - P_B = 2a$

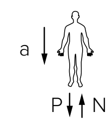
$T_1 = 5a + P_A + P_B = 15 + 50 \Rightarrow T_1 = 65\ N$

$T_2 = 2a + P_B = 6 + 20 \Rightarrow T_2 = 26\ N$

c) No bloco B: $P_B - T_2 = m_B \cdot g \Rightarrow T_2 = 0$

No bloco A: $T_2 + P_A - T_1 = m_A \cdot g \Rightarrow T_1 = 0$

3. Isolando o homem:



a) $F_R = m \cdot a \Rightarrow P - N = m \cdot a \Rightarrow 900 - N = 90 \cdot 3$

$N = 630\ N$

b) $F_R = m \cdot a \Rightarrow P - N = m \cdot a$

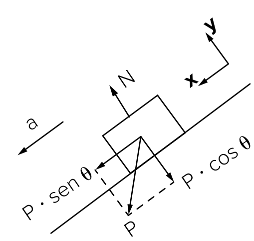
$900 - 1080 = 90a$

$-180 = 90 \cdot a \Rightarrow a = -2\ m/s^2$

Como o sinal é negativo, a aceleração tem sentido contrário ao que foi desenhado.

Logo, $a = 2\ m/s^2$ para cima.

4. a) Isolando o corpo e decompondo as forças e a aceleração nas direções do plano e perpendicular a este:



Em *y*: $F_{R,y} = m \cdot a_y \Rightarrow N - P \cdot \cos\theta = m \cdot a_y$

$N - 100 \cdot 0{,}8 = 10 \cdot 0 \Rightarrow N = 80\ N$

b) Em *x*: $F_{R,x} = m \cdot a_x \Rightarrow P \cdot \text{sen}\,\theta = m \cdot a$

$mg \cdot \text{sen}\,\theta = m \cdot a$

$a = g \cdot \text{sen}\,\theta = 10 \cdot 0{,}6 \Rightarrow a = 6\ m/s^2$

c) Em *x*: $F_{R,x} = 0 \Rightarrow P \cdot \text{sen}\,\theta - F = 0$

$F = m \cdot g \cdot \text{sen}\,\theta = 10 \cdot 10 \cdot 0{,}6 \Rightarrow F = 60\ N$

Definir força elástica. Mostrar como calcular a constante elástica equivalente em associação de molas em série e em associação de molas em paralelo.

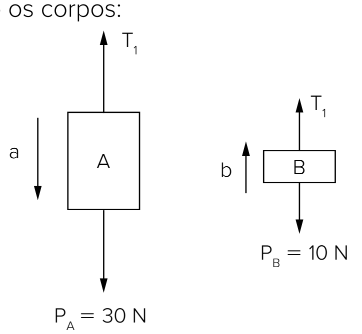
Definir equilíbrio estático e dinâmico, bem como equilíbrio estável, instável e indiferente.

Demonstrar como são resolvidos os exercícios clássicos: polia simples e polia móvel, corpos ligados a molas, fios com massa, fios pendurados ao teto de móveis acelerados e problemas que envolvem vínculo geométrico.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. a) Isolando os corpos:



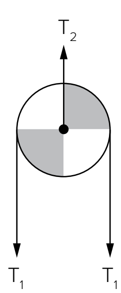
A: $F_{R,A} = m_A \cdot a \Rightarrow 30 - T_1 = 3a$

B: $F_{R,B} = m_B \cdot a \Rightarrow T_1 - 10 = 1a$

$20 = 4a \Rightarrow a = 5\ m/s^2$

b) $T_1 - 10 = 1 \cdot 5 \Rightarrow T_1 = 15\ N$

c) Isolando a polia:



$F_{R,p} = m_p \cdot a_p \Rightarrow T_2 - 2 \cdot T_1 = m_p \cdot 0$

$T_2 = 2 \cdot 15 \Rightarrow T_2 = 30\ N$

2. **Soma: 02 + 16 + 32 = 50**

Afirmativa 01: incorreta. Como a velocidade é constante, a aceleração é nula. Portanto, a força resultante também é nula.

Afirmativa 02: correta.

Para Thiago:

$T = P$

$T = m \cdot g$

$T = 2 \cdot 10$

$T = 20\ N$

Para João:

$T = F_{el}$

$T = k \cdot x$

$T = 100 \cdot 0{,}2$

$T = 20\ N$

Afirmativa 04: incorreta. Na figura 1, a força aplicada por Thiago é constante ao longo de todo o movimento.

Afirmativa 16: correta. Na figura 2, a força aplicada por João pode ser descrita como $F_{el} = k \cdot x$, em que a deformação mola é diretamente proporcional à força elástica.

Afirmativa 32: correta. Vide afirmativa 02.

3. a) Como a mola está comprimida, ela exerce força sobre a esfera na direção horizontal e para a esquerda, mas essa força é a própria resultante do movimento. Portanto, pela segunda lei de Newton, a aceleração resultante também tem direção horizontal e está orientada para a esquerda.

b) Os vetores aceleração e velocidade têm sentidos contrários. Portanto, o movimento do trem é retardado.

4. **A**

$P = k \cdot \Delta x \Rightarrow 4 = k \cdot 0{,}12 \Rightarrow k = \dfrac{100}{3}\ N/m$

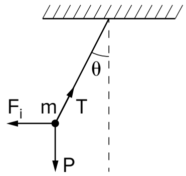
Na nova situação, tem-se:

$6 = \dfrac{100}{3} \cdot \Delta x \Rightarrow \Delta x = \dfrac{18}{100} \Rightarrow \Delta x = 18\ cm$

Assim, o comprimento total da mola é:

$x = x_0 + \Delta x = 10 + 18 \Rightarrow x = 28\ cm$

5. a)



$\theta = 14°$

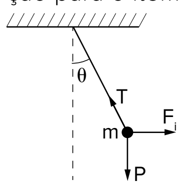
P: Peso

T: Tração

F_i: Força inercial

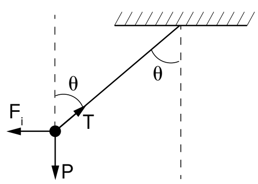
b) Pela figura do item **a**, o trem se move da esquerda para a direita.

Da mesma forma, poderíamos ter a seguinte situação para o item **a**:



Nesse caso, o trem estaria se movendo da direita para a esquerda.

c)



$T \cdot \cos\theta = P \qquad \text{(I)}$

$T \cdot \text{sen}\,\theta = F_i \qquad \text{(II)}$

$$\frac{\text{(II)}}{\text{(I)}} = \text{tg}\,\theta = \frac{F_i}{m \cdot g}$$

$\text{tg}\,\theta \cdot m \cdot g = m \cdot a_t$, em que a_t = aceleração do trem.

$a_t = g \cdot \text{tg}\,\theta = 10 \cdot 0{,}25$

$a_t = 2{,}5\ \text{m/s}^2$

Orientações da Frente 2

FRENTE 2 AULA 10

Apresentar o conceito de potencial elétrico e o de diferença de potencial. É possível fazer uma ligação com esferas eletrizadas conectadas por um fio mostrando que, se tiverem diferentes potenciais elétricos, tenderão ao equilíbrio, estabelecendo um fluxo de elétrons pelo fio. Comentar sobre a existência de dispositivos capazes de, à custa de energia, manter a diferença de potencial elétrico e o fluxo de elétrons por um intervalo de tempo maior. Não é necessário aprofundar o conceito de gerador elétrico, pois isso será feito posteriormente. No livro, há uma analogia entre o gerador e uma bomba de água que pode facilitar a compreensão sobre a função desse dispositivo.

Retomar o conceito de fluxo de elétrons e comentar que nem toda corrente elétrica será formada por elétrons exclusivamente; no entanto, essa é a que mais interessa e será objeto de estudo.

Comentar que os elétrons se movimentam espontaneamente dentro de um condutor ou fio metálico em razão da própria agitação térmica e de interações elétricas no nível microscópico, porém esse movimento é caótico. A conexão dos extremos do fio condutor a um gerador cria um campo elétrico que passa a influenciar o movimento coletivo dos elétrons.

Evitar a definição de corrente elétrica como "movimento ordenado de elétrons ou portadores de carga elétrica", pois essa definição contém erros conceituais. Com o estabelecimento da diferença de potencial elétrico (ddp) e do correspondente campo elétrico do fio, o movimento dos elétrons torna-se menos caótico, mais orientado, apresentando o que chamamos de **movimento de deriva**. Os elétrons, individualmente, parecem ainda se movimentar de forma caótica, colidindo entre si e com os átomos da rede cristalina, mas, coletivamente, apresentam um movimento direcionado ao longo do fio, constituindo a corrente elétrica. Explicar que, embora o movimento dos elétrons não seja ordenado, ele será representado dessa forma para simplificação.

Definir seção reta e apresentar a equação da intensidade de corrente elétrica. Apresentar as unidades de medida do Sistema Internacional de Unidades (SI) e seus principais múltiplos e submúltiplos.

Apresentar o sentido preferencial utilizado para representar a corrente elétrica no interior de um condutor: o mesmo do campo elétrico externo que a provoca, sendo, dessa maneira, oposto ao movimento dos elétrons.

Reforçar que a corrente elétrica "se estabelece" em um condutor e "não atravessa o condutor", afinal ela é formada pelos elétrons que já fazem parte do condutor.

Apresentar o conceito de corrente iônica e o cálculo de sua intensidade.

Mostrar como são representadas as diferentes correntes elétricas com sua intensidade em função do tempo em gráficos cartesianos, chamados genericamente de **forma de onda**. Apresentar a propriedade da área do gráfico $i \times t$.

Apresentar a diferença entre corrente contínua e corrente alternada com relação ao comportamento de sua intensidade e seu sentido de fluxo.

Se houver tempo, apresentar a propriedade da continuidade de corrente elétrica em condutores como decorrência do princípio da conservação da carga elétrica.

Definir potência elétrica transportada por uma corrente elétrica. Se considerar oportuno, deduzir a expressão por meio do trabalho em um campo elétrico, conforme apresentado no livro. Mostrar como associar potência e energia elétrica.

Fazer o exercício 4 e reforçar as unidades de medida envolvidas, apresentando os principais múltiplos e submúltiplos.

Comentar sobre a unidade kWh e reforçar que se trata de unidade de energia bastante utilizada para aferição do consumo elétrico residencial ou industrial.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. **B**

Do enunciado, tem-se:

$\Delta t = 90 \text{ min} = 1{,}5 \text{ h}$

E a intensidade da corrente média é dada por:

$$i = \frac{q}{\Delta t} \Rightarrow \frac{900 \text{ mA}\cancel{h}}{1{,}5\ \cancel{h}} \Rightarrow i = 600 \text{ mA}$$

2. a) $Q = i \cdot \Delta t$

$Q = 4\,000 \text{ mA} \cdot \text{h}$

$Q = 4\,000 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 3\,600 \text{ s}$

$Q = 1{,}44 \cdot 10^{4} \text{ C}$

b) $i_m = \dfrac{Q}{\Delta t}$

$i_m = \dfrac{1{,}44 \cdot 10^{4} \text{ C}}{8{,}0} \cdot 3\,600 \text{ s}$

$i_m = 0{,}5 \text{ A}$

$P_m = U \cdot i_m$

$P_m = 5{,}0 \cdot 0{,}5$

$P_m = 2{,}5 \text{ W}$

3. **B**

Para calcular o consumo mensal de energia elétrica, basta fazer a diferença das leituras do medidor:

$E = 320\,287 - 320\,251$

$E = 36 \text{ kWh}$

$E = P_{ot} \cdot \Delta t$

$36 = P_{ot} \cdot 30 \cdot 24$

$P_{ot} = 0{,}050 \text{ kW} = 50 \text{ W}$

Retomar o exemplo dos elétrons em um fio de cobre quando há um campo elétrico externo estabelecendo uma corrente elétrica no condutor. Mostrar que, à medida que os elétrons avançam ao longo do condutor, inúmeras colisões ocorrem entre os próprios elétrons e entre eles e os átomos da rede cristalina. Essas colisões envolvem transferência de energia cinética dos elétrons para a rede; os elétrons aumentam sua vibração e aquecem o fio em nível macroscópico. Relacionar conceitualmente essas ocorrências à ideia de resistência ao fluxo de elétrons ao longo do condutor – a resistência elétrica.

Mostrar que a resistência elétrica pode ser medida, a cada instante, pela razão entre a ddp (U) nos terminais do condutor e a intensidade de corrente elétrica (i): $R = \frac{U}{i}$. Registrar as unidades de medida do SI envolvidas.

Definir o termo condutor ôhmico e, se houver tempo, mostrar um exemplo de curva de condutor não ôhmico e a consequência disso: R variável, mesmo com a temperatura mantida constante.

Relacionar a resistência elétrica aos parâmetros principais do condutor elétrico: seu comprimento, sua área de seção e o material que o compõe. Esse resultado caracteriza a segunda lei de Ohm. Se possível, explorar o assunto isolando cada parâmetro e comparando dois condutores.

Se for oportuno, comentar sobre o conceito de condutividade e condutância.

Retomar a ideia de resistência elétrica e transformação de energia elétrica em energia térmica. Comentar que o efeito Joule é inerente a qualquer condutor e pode ser indesejável em determinadas situações (aquecimento de circuitos eletrônicos, como o telefone celular), mas desejável em outras (aquecedores térmicos, ferros de passar roupa e chuveiros elétricos, por exemplo). Definir resistor como um condutor elétrico cuja resistência elétrica é um parâmetro relevante em determinadas situações e apresentar a simbologia utilizada em sua representação.

Mostrar como calcular a potência térmica dissipada pelo resistor por meio das variáveis elétricas envolvidas. Mostrar como associar a potência dissipada à energia térmica.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. C

A região em que o resistor tem comportamento ôhmico é a reta que vai da origem ao ponto em que a ddp vale 0,4 volt e a corrente 0,5 ampere:

$$R = \frac{U}{i} = \frac{0{,}4\ V}{0{,}5\ A} = 0{,}8\ \Omega$$

Obs.: o estudante pode usar $R = \frac{U}{i} = \frac{0{,}2\ V}{0{,}25\ A} = 0{,}8\ \Omega$.

2. B

Da primeira lei de Ohm, temos:

$$R = \frac{U}{i} \Rightarrow R = \frac{25}{50 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow R = 500\ \Omega$$

Da segunda lei de Ohm, temos:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \Rightarrow A = \frac{\rho \cdot L}{R} \Rightarrow A = \frac{1{,}75 \cdot 10^{-6} \cdot 2}{5 \cdot 10^{2}}$$

$$A = 0{,}7 \cdot 10^{-4}\ cm^2$$

3. A

Considerando V = RI, temos que a resistência R e a corrente I são grandezas inversamente proporcionais. Sendo assim, como a tensão é fixa em 5 V e a corrente máxima é 10 mA, o valor mínimo possível para a resistência é:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5}{10^{-2}} \Rightarrow R = 500\,\Omega = 0{,}5\ k\Omega$$

Analisando o gráfico, podemos notar que, para esse valor de resistência, a temperatura é de aproximadamente T = 38 °C. Qualquer valor de temperatura maior do que essa romperá o termistor. Logo, a única alternativa em que essa condição é satisfeita é a **a**.

Essa aula é dedicada ao desenvolvimento do estudo inicial de circuitos elétricos e dá ênfase aos arranjos de resistores e às associações em série mais básicos. Destacam-se, em cada tópico, o trabalho analítico e o significado de cada grandeza da eletrodinâmica (ddp, corrente, resistência e potência) em cada elemento do circuito.

Ao explorar os resistores em série, enfatizar o fato de a corrente ser a mesma e cada resistor usar parte da ddp total para seu funcionamento.

Mostrar a organização para a resolução de associações simples e relacionar a grandeza a cada elemento do circuito.

RESOLUÇÕES

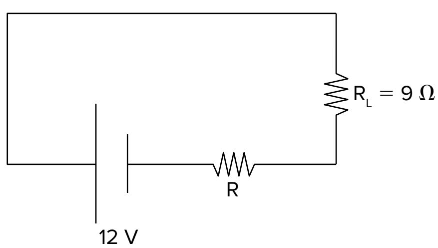
Exercícios de sala

1. E

Inicialmente, calculamos a resistência da lâmpada:

$$R_L = \frac{U^2}{P} = \frac{(4,5)^2}{2,25} \Rightarrow R_L = 9\ \Omega$$

Assim, o circuito de ligação da lâmpada fica igual ao mostrado na figura a seguir.



Para que a tensão sobre a lâmpada seja igual a 4,5 V, a corrente deve ser igual a:

$$U = R \cdot i \Rightarrow i = \frac{U}{R} = \frac{4,5}{9} \Rightarrow i = 0,5\ A$$

Novamente, pela lei de Ohm, tem-se:

$U = R \cdot i \Rightarrow 12 = (R + 9) \cdot 0,5 \Rightarrow R = 15\ \Omega$

2. B

Inicialmente, calculamos a R_{eq1} de duas resistências em paralelo.

$$R_{eq1} = \frac{5 \cdot 5}{5+5} = \frac{25}{10} = \frac{5}{2}$$

Em seguida, calculamos a R_{eq2} das outras duas em paralelo.

$$R_{eq2} = \frac{\frac{5}{2} \cdot 5}{\frac{5}{2} + 5} = \frac{5}{3}$$

Por fim, calculamos a R_{eq3} das resistências em série.

$$R_{eq3} = \frac{5}{3} + 5 = \frac{20}{3} \cong 6,6\ \Omega$$

3. D

Calculando a corrente elétrica no equipamento:

$i = \frac{U}{R} = \frac{9}{10^4} = 0,9$ mA. Como temos quatro resistores iguais a 100 Ω, a tensão de 12 V vai se dividir em quatro partes iguais a 3 V. Sabendo que o equipamento opera com 9 V, ele deve ser ligado entre os pontos B e E.

Desenvolver com os estudantes técnicas de análise dos potenciais elétricos dos nós de um circuito elétrico. Explicar que os fios, na maioria dos exercícios, são ideais, o que pode causar certa distorção na análise.

Apresentar o conceito de curto-circuito técnico. Deixar claro que um aparelho curto-circuitado está fora do sistema, portanto, apesar de possuir cargas elétricas, não existe fluxo dessas cargas; sendo assim, ele não sofre nenhum dano.

Demonstrar o que é a ponte de Wheatstone e resolver situações-problema clássicas envolvendo resistência equivalente e circuitos com a ponte.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. B

A situação proposta pela questão tem duas lâmpadas funcionando com suas tensões nominais, de modo que a luminosidade de cada lâmpada não se altere. As lâmpadas serão controladas por chaves, podendo ser acesas separada ou simultaneamente.

Tem-se, no circuito, uma fonte, as lâmpadas e as chaves.

A figura 1 não descreve a situação, pois a chave (ch) controla as duas lâmpadas ao mesmo tempo e não permite funcionamento independente.

Nas figuras 3, 4 e 5, as lâmpadas estão ligadas em série, o que as torna totalmente dependentes; além disso, na figura 5, há um curto-circuito que faz uma das lâmpadas não acender. Essas figuras não descrevem a situação pedida.

O único circuito que permite o funcionamento independente de cada lâmpada, sem alteração do brilho durante o funcionamento, é o proposto na figura 2.

2. A

O resistor de resistência $R_A = 24\ \Omega$ está sob tensão de $U = 12$ V e é percorrido pela corrida i_A. Logo,

$U = R \cdot i \Rightarrow 12 = 24 \cdot i_A \Rightarrow i_A = 0,5$ A

Do enunciado: $i_B = 3 \cdot i_A = 3 \cdot 0,5 = 1,5$ A

O ramo de baixo, de resistência total $R_{total} = 6 + R_{B2}$ (em série), é percorrido pela corrente $i_B = 1,5$ A e está sob tensão de 12 V. Logo,

$U = R \cdot i \Rightarrow 12 = (6 + R_{B2}) \cdot 1,5 \Rightarrow R_{B2} = 2,00\ \Omega$

3. C

Ao ligar o fio, como na segunda figura, as lâmpadas L_1 e L_2 entram em curto-circuito. A lâmpada L_3 continua acesa e com brilho mais intenso que antes.

Comentar que o **galvanômetro**, o **amperímetro** e o **voltímetro**, instrumentos de medida elétrica, serão estudados nesta aula.

Explicar que, em um galvanômetro analógico, o resultado é mostrado por um ponteiro que deflete sobre uma escala graduada, sendo a leitura feita por analogia entre o valor indicado e o valor de fundo de escala selecionado. Apresentar o símbolo utilizado em diagramas para representar um galvanômetro.

Comentar que o amperímetro é utilizado para medir a intensidade de corrente elétrica que passa por um dispositivo em um circuito e deve ser conectado em série a ele. Apresentar o símbolo utilizado em diagramas para representar um amperímetro.

Explicar que o voltímetro é o aparelho utilizado para medir a tensão de um dispositivo e apresentar o símbolo utilizado em diagramas para representá-lo.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. **A**

Para realizar a medição corretamente, o voltímetro deve estar ligado em paralelo com a resistência, e o amperímetro deve estar ligado em série.

2. **A**

O multímetro 1 está conectado em série com a lâmpada, ou seja, ele está atuando como um amperímetro, medindo a corrente. Pelo valor da tensão apresentada no multímetro 2, percebemos que a corrente medida será:

$$U = R \cdot i \Rightarrow i = \frac{U}{R} = \frac{5{,}62}{40} \Rightarrow i = 0{,}1405 \text{ A}$$

3. **A**

Para realizar a medição de corrente elétrica, o amperímetro deve ser ligado em série.

Definir gerador elétrico como um dispositivo capaz de transformar qualquer tipo de energia em energia elétrica. Listar alguns exemplos de geradores, como a pilha (gerador químico) e o dínamo (gerador mecânico).

Apresentar o símbolo do gerador elétrico que será utilizado nos esquemas elétricos estudados nesse e nos próximos capítulos. Apresentar na lousa o esquema do resumo teórico da aula. Definir gerador elétrico ideal (sem resistência elétrica interna) e compará-lo ao gerador elétrico real.

Comentar que a ênfase dessa aula será a pilha química seca comercial, muito utilizada no cotidiano. Mostrar como a ddp oferecida pela pilha ao circuito é menor do que a ddp gerada a princípio pelas reações químicas em seu interior. Reforçar a presença da resistência elétrica inerente à pilha (denominada resistência elétrica interna) e apresentar a equação do gerador.

Mostrar como representar graficamente a ddp nos terminais da pilha em função da intensidade de corrente elétrica.

Representar um circuito elétrico simples envolvendo um gerador elétrico real conectado a um resistor externo. Identificar os terminais comuns entre o gerador e o resistor, aplicar as equações correspondentes (primeira lei de Ohm e equação do gerador) e mostrar como calcular a intensidade de corrente elétrica nesse circuito. Registrar que essa é a lei de Ohm-Pouillet.

Registrar na lousa a equação do gerador elétrico e mostrar que, quando todos os termos são multiplicados pela intensidade de corrente elétrica, obtêm-se as respectivas potências: total, útil e dissipada pela resistência interna da pilha. Reforçar que a potência elétrica dissipada ocorre na forma de calor, e, por essa razão, a pilha se aquece após determinado intervalo de tempo de funcionamento. Definir rendimento do gerador em função das potências. Escrever a expressão da potência útil na lousa e mostrar a curva característica dessa função do 2º grau destacando seus pontos significativos: potência, tensão e intensidade da corrente elétrica máximas.

Comentar que pilhas (e geradores em geral) podem ser conectados para trabalhar em conjunto. Há muitos aparelhos que utilizam mais de uma pilha ao mesmo tempo, como controles remotos e outros dispositivos portáteis. Explicar que a associação de pilhas pode se dar de duas maneiras distintas: em série ou em paralelo. Definir gerador equivalente como um gerador ou uma pilha hipotéticos que funcionariam em um circuito de maneira semelhante à associação.

Apresentar a associação em série de duas pilhas, reforçando a representação esquemática para que os estudantes sejam capazes de identificar esse tipo de conexão em circuitos elétricos. Havendo a possibilidade, deduzir com eles as características do gerador equivalente. Proceder do mesmo modo para a associação de geradores em paralelo de maneira que os estudantes possam identificar essas duas formas de associação e realizar os cálculos correspondentes.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. **A**

A equação geral de um gerador real de resistência interna é dada por: $U = \varepsilon - r \cdot i$. Note que essa é uma equação de reta decrescente.

2. a) A ddp nos terminais do gerador é a mesma daquela nos terminais da lâmpada, já que estão ligados em paralelo, ou seja, 120 V.

b) Se o gerador está funcionando com rendimento de 80%, então sua força eletromotriz ε pode ser calculada por:

$$\varepsilon = \frac{U}{\eta} = \frac{120}{0{,}8} \Rightarrow \varepsilon = 150\ \text{V}$$

A sua resistência interna pode ser determinada sabendo-se que a corrente que atravessa a lâmpada (6 A) é a mesma que é drenada do gerador, ou seja:

$U = \varepsilon - r \cdot i$

$120 = 150 - r \cdot 6$

$r = 5\ \Omega$

3. **C**

O brilho da lâmpada é proporcional à potência, que, por sua vez, é proporcional à tensão. Logo:

Em A: $V_A = (1{,}5 \parallel 1{,}5 \parallel 1{,}5) + 1{,}5 \Rightarrow V_A = 3\ \text{V}$

Em B: $V_B = (1{,}5 + 1{,}5) \parallel (1{,}5 + 1{,}5) \Rightarrow V_B = 3\ \text{V}$

Em C: $V_C = 1{,}5 + 1{,}5 + 1{,}5 + 1{,}5 \Rightarrow V_C = 6\ \text{V}$

Em D: $V_D = (1{,}5 \parallel 1{,}5) + (1{,}5 \parallel 1{,}5) \Rightarrow V_D = 3\ \text{V}$

Em E: $V_E = 1{,}5 \parallel 1{,}5 \parallel 1{,}5 \parallel 1{,}5 \Rightarrow V_E = 1{,}5\ \text{V}$

Portanto, o maior brilho se dará na associação da alternativa **c**.

Definir receptor elétrico como um dispositivo que utiliza energia elétrica para transformá-la em outra forma de energia que não seja a energia térmica. Enumerar exemplos de aplicação prática como ventiladores e aparelhos sonoros ou luminosos.

Mostrar como compor a equação do receptor elétrico de acordo com o que está apresentado no livro-texto. Construir o gráfico da tensão em função da intensidade de corrente elétrica para um receptor elétrico.

Desenvolver a equação das potências associadas ao receptor elétrico, de modo semelhante ao que foi feito para geradores. Identificar cada potência da equação. Se possível, construir o diagrama de potências conectando um gerador elétrico a um receptor elétrico, ambos reais, ou seja, com resistência elétrica interna não nula, como no resumo de aula.

Mostrar que as expressões de potência total e útil são ligeiramente diferentes para cada dispositivo. Se não quiser construir esse diagrama, orientar a leitura conjunta do esquema no resumo de aula.

Construir um circuito elétrico simples contendo um gerador elétrico real, um receptor elétrico real e resistores em malha única e mostrar como equacionar o problema para o cálculo da intensidade de corrente elétrica total (caso haja resistores em paralelo). Essa é a equação de Ohm-Pouillet estendida.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. a) A equação geral de um receptor é dada por:

$U = \varepsilon + r \cdot i$

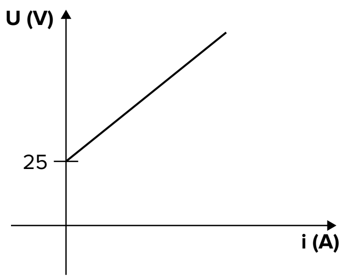
$\varepsilon = 25$ V; $r = 6\ \Omega$

b) Note que a equação do receptor é o de uma reta crescente. Além disso, temos:

$i = 0$

$U = 25 + 6 \cdot 0$

$U = 25$ V



2. A

Sabendo que:

$P_{dissip.} = 20$ W

$U = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$

$120 = 110 + \varepsilon_2$

$\varepsilon_2 = 10$ V

A resistência interna será dada por:

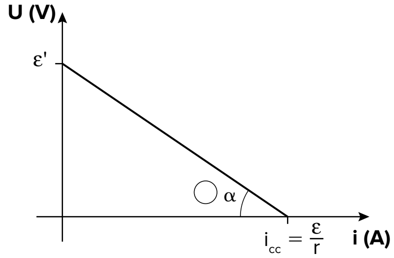
$$P_{dissip.} = \frac{U^2}{R}$$

$$20 = \frac{10^2}{R}$$

$$R = \frac{100}{20}$$

$$R = 5\ \Omega$$

3. Para um gerador real, sua reta característica é:



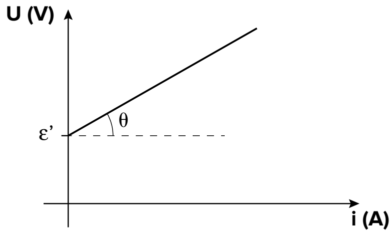
$tg\,\alpha \overset{N}{=} r$, em que *r* é a resistência interna do gerador.
Assim, considerando o gráfico do enunciado:

$\varepsilon = 100\ V$

$r = \dfrac{100 - 20}{4}$

$r = 20\ \Omega$

Para o receptor:



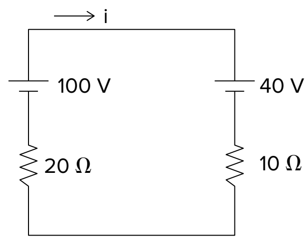
$tg\,\alpha \overset{N}{=} r'$, em que r' é a resistência interna do receptor.
Considerando o gráfico do enunciado:

$\varepsilon' = 40\ V$

$r' = \dfrac{60 - 40}{2}$

$r' = 10\ \Omega$

Estando os dois interligados por fios ideais:



Pela lei de Pouillet:

$i = \dfrac{100 - 40}{20 + 10}$

$i = \dfrac{60}{30}$

$i = 2\ A$

Para o gerador:

$\eta_{gerador} = \dfrac{U}{\varepsilon} = \dfrac{\varepsilon - r \cdot i}{\varepsilon}$

$\eta_{gerador} = \dfrac{100 - 20 \cdot 2}{100}$

$\eta_{gerador} = 60\%$

E para o receptor:

$\eta_{receptor} = \dfrac{\varepsilon'}{U}$

$\eta_{receptor} = \dfrac{40}{60}$

$\eta_{receptor} = 67\%$

Resolver o exercício 1 para que os estudantes relembrem conceitos importantes como os de resistências, potências, força eletromotriz etc. Em seguida, explorar o conteúdo central da aula: leis de Kirchhoff.

A proposta dessa aula é mostrar a importância das leis de Kirchhoff na resolução de circuitos com malhas múltiplas. Relembrar aos estudantes como resolver um circuito de malha simples contendo gerador, receptor e resistores utilizando a lei de Ohm-Pouillet.

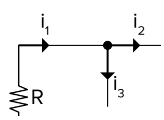
Apresentar as duas leis de Kirchhoff. Na apresentação da lei dos nós, comentar que se trata de uma constatação bastante intuitiva que já foi utilizada anteriormente. Reforçar que o embasamento dessa lei se dá pelo princípio da conservação de cargas elétricas em circuitos elétricos isolados. Em seguida, apresente a lei das malhas como consequência do princípio da conservação da energia em sistemas isolados.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. D

Note a parte do circuito em destaque abaixo.

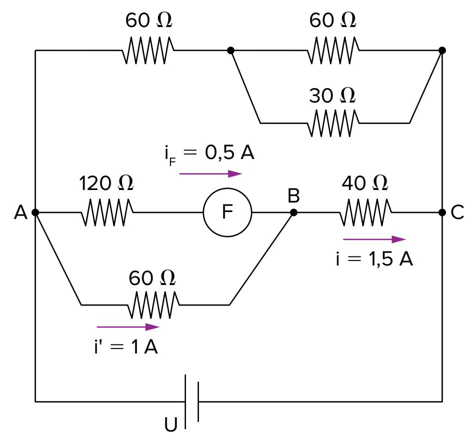


Pela lei de Kirchhoff das correntes, temos:

$i_1 = i_2 + i_3$

2. D

Desenhando o circuito, temos:



Calculando o valor da corrente i' que passa pelo resistor de 60 Ω:

$120 \cdot 0,5 = 60 \cdot i'$

$i' = 1\ A$

Temos uma corrente *i* que passa por BC:

$i = i' + i_F$

$i = 1 + 0,5$

$i = 1,5\ A$

E a resistência equivalente em AC é:

$$R_{AC} = \frac{120 \cdot 60}{120 + 60} + 40$$

$$R_{AC} = 80\ \Omega$$

Com os valores calculados anteriormente, é possível calcular o valor da tensão U:

$$R_{AC} = \frac{U}{i}$$

$$U = R_{AC} \cdot i$$

$$U = 80 \cdot 1,5$$

$$U = 120\ V$$

3. a) Admitindo que na situação descrita a posição de equilíbrio coincida com a posição livre da mola, a energia potencial da mola pode assim ser calculada:

$$\varepsilon_p = \frac{1}{2} \cdot kx^2$$

$$\varepsilon_p = \frac{1}{2} \cdot 1500 \cdot (0{,}8 \cdot 10^{-3})^2$$

$$\varepsilon_p = 0{,}48 \cdot 10^{-3}\ \text{J}$$

b) De acordo com o gráfico dado, quando a intensidade da luz é $I = 0{,}5\ \text{W/m}^2$, a resistência do LDR é $R = 7\ \text{k}\Omega$.

Utilizando-se a lei de Pouillet para o gerador ideal:

$$i = \frac{\varepsilon}{R}$$

$$i = \frac{5}{(7k + 3k)}$$

$$i = 0{,}5\ \text{mA}$$

A tensão no LDR pode assim ser calculada:

$U_{LDR} = R \cdot i = (7\ \text{k}\Omega) \cdot (0{,}5\ \text{mA})$

$U_{LDR} = 3{,}5\ \text{V}$

Nesta aula, explora-se o capacitor. Comentar que o capacitor elétrico é um dispositivo cuja função é armazenar cargas elétricas, diferença de potencial e energia potencial elétrica, e que pode ser utilizado tanto em circuitos elétricos quanto em equipamentos que necessitam de uma descarga rápida de eletricidade, como desfibriladores e *flashes* de máquinas fotográficas.

Destacar a importância do dielétrico na função de armazenagem de cargas elétricas. Definir a capacitância do capacitor em função da carga armazenada e da ddp, bem como a expressão da capacitância pelos aspectos construtivos do capacitor de placas paralelas.

Deduzir as expressões da energia potencial armazenada no capacitor. Mostrar as associações de capacitores em série, em paralelo e mista, enfatizando que as equações para cálculo das capacitâncias equivalentes são contrárias às expressões nos resistores elétricos. Por fim, explicar o comportamento do capacitor em circuitos elétricos.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. B

$$E_p = \frac{C \cdot U^2}{2}$$

$$E_p = \frac{40 \cdot 10^{-6} \cdot 3000^2}{2}$$

$$E_p = 180 \text{ J}$$

$$P_{ot} = \frac{E}{\Delta t}$$

$$P_{ot} = \frac{180}{2 \cdot 10^{-3}}$$

$$P_{ot} = 90 \text{ kW}$$

2. A

Para o capacitor C_x, a energia armazenada é calculada a partir da expressão:

$$X = \frac{C_x \cdot U^2}{2} \Rightarrow C_x = \frac{2X}{U^2}$$

Para o capacitor C_y:

$$Y = \frac{C_Y \cdot U^2}{2} \Rightarrow C_Y = \frac{2Y}{U^2}$$

No caso da associação em série, a capacitância equivalente pode ser calculada a partir de:

$$C_{eq} = \frac{C_X \cdot C_Y}{C_X + C_Y} = \frac{\frac{2X}{U^2} \cdot \frac{2Y}{U^2}}{\frac{2X}{U^2} + \frac{2Y}{U^2}} = \frac{2XY}{(X+Y)U^2}$$

Portanto, a energia armazenada nesse capacitor equivalente é:

$$E = \frac{C_{eq} \cdot U^2}{2} = \frac{\left(\frac{2XY}{(X+Y)U^2}\right) \cdot U^2}{2} \Rightarrow E = \frac{XY}{(X+Y)}$$

3. E

Como os capacitores estão associados em paralelo, temos:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

$$C_{eq} = 6 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-6} + 8 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 10^{-6}$$

$$C_{eq} = 20\ \mu\text{F}$$

A energia é dada por:

$$E_p = \frac{C \cdot U^2}{2}$$

$$E_p = \frac{20 \cdot 10^{-6} \cdot 30^2}{2}$$

$$E_p = 9 \text{ mJ}$$

Orientações da Frente 3

FRENTE 3 AULA 10

O enfoque principal desse capítulo é a resolução de exercícios. Assim, a aula foi planejada para que, no máximo, de 30% a 40% do tempo dela seja destinado à explanação teórica, e o restante se concentre na aplicação dos conceitos de forma prática e dirigida.

Iniciar a aula apresentando o conceito de máquinas térmicas dividindo-as em duas categorias:

- **motores térmicos:** capazes de transformar energia térmica do calor recebido em energia mecânica, utilizada para movimentar algum mecanismo, como pistões.
- **bombas de calor:** capazes de, por meio de trabalho mecânico imposto ao dispositivo, transferir calor de forma não espontânea, invertendo seu fluxo natural.

Apresentar o esquema gráfico de um motor térmico, explicando cada parte do esquema. Esse é o principal esquema que os estudantes vão encontrar em exercícios e provas, por isso é importante que estejam familiarizados com essa representação. Comentar a inversão do fluxo de calor que caracteriza a bomba de calor. Se julgar conveniente, mostrar ambos os esquemas sobrepostos, como apresentado no resumo de aula.

Explicar os conceitos de rendimento e eficiência e fazer o exercício 1.

Introduzir a ideia de transformação de energia térmica em energia mecânica associando-a à perda energética como um fenômeno natural e inevitável. Comentar sobre a máquina ideal, na qual não haveria perda. Se julgar oportuno, explicar o motor de um automóvel, no qual parte do calor liberado na combustão aquece e expande o gás formado nela, provocando o movimento do veículo; e parte do calor causa aquecimento da carcaça do próprio motor, sendo eliminado para o ambiente pelo sistema de refrigeração e pelo escapamento. Reforçar que essa dissipação de energia é inevitável. Apresentar o enunciado da segunda lei da Termodinâmica.

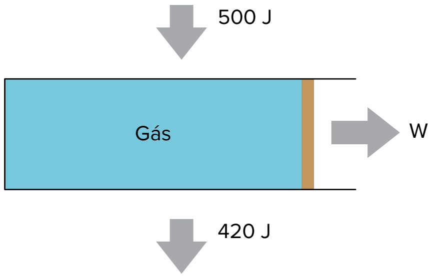
Por fim, comentar o trabalho do jovem Sadi Carnot, que propôs um modelo teórico segundo o qual a perda de calor poderia ser minimizada, embora não eliminada. Desenhar o ciclo de Carnot na lousa e explicar os detalhes que compõem cada uma das quatro etapas, reforçando onde ocorrem a entrada e a saída de calor no sistema. Mostrar como calcular o rendimento nesse ciclo. Fazer os exercícios 2 e 3.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. A

A figura a seguir representa o funcionamento da máquina térmica em questão.



Da conservação de energia:

$$Q_Q = |Q_F| + W \Rightarrow 500 = 420 + W$$

$$W = 80\ \text{J}$$

A definição de rendimento é a razão entre o trabalho obtido e o calor fornecido. Assim:

$$\eta = \frac{W}{Q_Q} = \frac{80}{500} \Rightarrow \eta = 0{,}16$$

$$\eta = 16\%$$

2. a) Do enunciado, temos $P_A = 4$ atm, $T_A = 300$ K e $n = 1$ mol. Utilizando esses valores na equação de Clapeyron, temos:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 4 \cdot V_A = 1{,}0 \cdot 0{,}08 \cdot 300$$

$$V_A = 6 \text{ L}$$

b) Do gráfico, $P_D = P_B$. Do texto, sabemos que $V_B = \frac{V_A}{3}$, $T_A = T_B$. Relacionando as variáveis de estado:

$$\frac{V_A \cdot P_A}{T_A} = \frac{V_B \cdot P_B}{T_B} \Rightarrow \frac{6 \cdot 4}{300} = \frac{\left(\frac{6}{3}\right) \cdot P_B}{T_D}$$

$P_B = 12$ atm $\Rightarrow P_D = 12$ atm

c) Sendo $V_D = V_A = 6$ L, podemos relacionar as variáveis de estado:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_D \cdot V_D}{T_D} \Rightarrow \frac{4 \cdot 6}{300} = \frac{12 \cdot 6}{T_D}$$

$$T_D = 900 \text{ K}$$

d) O calor total recebido em um ciclo é a soma dos calores recebidos.
O trecho AB é uma compressão isotérmica.
Portanto, temos:
$\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0 = Q - W \Rightarrow Q = W$
Se é compressão, o trabalho é negativo, e, consequentemente, o calor também é negativo. Sendo assim:
$Q_{AB} = -2\,640$ J
De maneira análoga, concluímos o oposto para a expansão isotérmica:
$Q_{CD} = +7\,910$ J
O trecho BC é um aquecimento isométrico, ou seja, recebe calor. O trecho DA é um resfriamento isométrico, isto é, perde calor. Sendo assim, o calor total recebido é:
$Q_R = Q_{BC} + Q_{CD}$

$$Q_{BC} = n \cdot C_v \cdot \Delta T = 1 \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot 8\right) \cdot (900 - 300)$$

$Q_{BC} = +7\,200$ J
Finalmente, temos:
$Q_R = Q_{BC} + Q_{CD} = 7\,200 + 7\,910$
$Q_R = 15\,110$ J

3. **E**
Utilizando os valores do enunciado, temos:

$$\eta_C = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \Rightarrow \frac{40}{100} = 1 - \frac{T_F}{500} \Rightarrow T_F = 300 \text{ K}$$

A cada segundo, a máquina realiza $4{,}2 \cdot 10^3$ J de trabalho em 10 ciclos. Portanto:

ciclos		trabalho (J)
1	———	W
10	———	$4{,}2 \cdot 10^3$

W = 420 J

Essa aula inicia o curso de Óptica. Nesse contexto, é importante que fiquem claros aos estudantes dois pontos: os assuntos que serão estudados são os fenômenos associados à luz e conectados à visão humana; e os fenômenos estudados podem ser descritos e quantificados geometricamente. Há muito mais fenômenos ópticos cuja abordagem foge do escopo desse conjunto de aulas e, por isso, não serão estudados, como a difração e a interferência luminosas. Se considerar oportuno, isso pode ser comentado com os estudantes.

Apresentar a luz como forma de energia e comentar que a propagação da luz e determinados fenômenos que ocorrem na interação da luz com a matéria podem ser explicados por meio do modelo ondulatório e do corpuscular. Enfatizar que esse curso explorará o modelo ondulatório da luz.

Explicar o espectro eletromagnético e comentar as faixas do espectro, especialmente a luz visível. Esclarecer que a distinção entre as faixas e as cores da luz se deve à frequência, uma característica das ondas. Esses aspectos ondulatórios serão abordados mais adiante no curso.

Classificar as fontes de luz e discutir a luz branca e o processo de visão humana de cores. Remeter os estudantes ao célebre experimento de Newton com o prisma e a luz solar. Orientar a leitura do livro-texto e, se possível, propor uma pesquisa sobre o tema.

Classificar os meios ópticos e apresentar os princípios de propagação da luz, exemplificando com situações do cotidiano. Fazer o exercício 1.

Comentar sobre ângulo de visão e fazer o exercício 2.

Apresentar os conceitos de sombra e penumbra, mostrando graficamente como encontrar as regiões de sombra e de penumbra e como as dimensionar. Fazer o exercício 3.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. A

Afirmativa I: verdadeira. Para que possamos enxergar o que há atrás de um material, este não poderá modificar a trajetória da luz caoticamente, visto que isso atrapalharia a formação de imagens bem definidas.

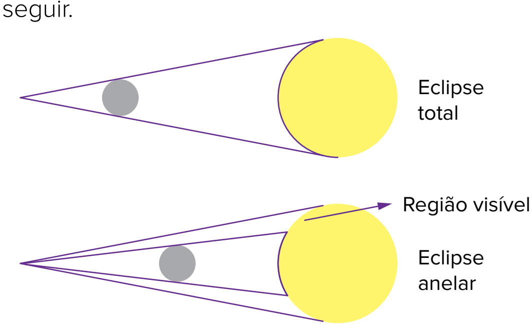
Afirmativa II: falsa. Percebemos a existência de luz que passa por meios translúcidos, todavia a formação de imagem fica comprometida. Isso ocorre devido à irregularidade da trajetória dos raios nesses materiais, que impedem a formação de imagens nítidas.

Afirmativa III: falsa. Meios opacos não permitem a passagem de luz.

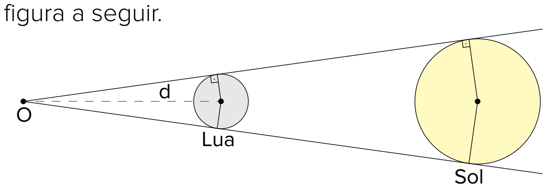
2. B

A formação de eclipse ocorre quando a Terra se encontra na sombra da Lua (eclipse solar) ou quando a Lua se encontra na sombra da Terra (eclipse lunar). A formação de sombras, por sua vez, é consequência da propagação retilínea da luz. Portanto, a ocorrência de eclipses também é consequência desse princípio.

3. a) Para que o eclipse seja anelar, parte do Sol deve estar na região de sombra e parte deve estar em região visível, conforme indicado no esquema a seguir.



b) A situação pode ser esquematizada conforme a figura a seguir.



Da semelhança dos triângulos retângulos:

$$\frac{r}{R} = \frac{d}{D} \Rightarrow \frac{1{,}75 \cdot 10^3}{7{,}0 \cdot 10^5} = \frac{d}{150 \cdot 10^6}$$

$$d = 3{,}75 \cdot 10^5 \text{ km}$$

Nessa abordagem inicial, apresentar os fenômenos que ocorrem com a luz quando interage com a matéria: reflexão, refração e absorção. Enfatizar que é o feixe de luz que passa por esses três fenômenos, e não um único raio de luz. Porém, por simplicidade, costumamos desenhar apenas um raio de luz incidente, "dividindo-o" em raio refletido e refratado.

Diferenciar reflexão especular (regular) de difusa e comentar a nitidez da imagem e a identificação visual da fonte luminosa. Apresentar o conceito de reflexão seletiva na visão de cores. Fazer o exercício 1.

Apresentar as duas leis da reflexão e o conceito de espelho plano. Comentar que, devido às leis da reflexão em uma superfície plana e altamente refletora, os espelhos planos apresentam algumas propriedades interessantes. Fazer o exercício 2.

Explicar a simetria objeto-imagem em um espelho plano como consequência da reflexão da luz nessa superfície. Caracterizar a imagem como simétrica, porém virtual, uma vez que a identificamos em uma posição "atrás do espelho". Voltando à imagem, mostrar que, embora a imagem seja simétrica, ela é revertida, ou seja, os lados esquerdo e direito aparecem trocados em relação ao observador. Fazer os exercícios 3 e 4.

Apresentar o conceito de campo visual e mostrar graficamente como obter o campo visual em um espelho plano. Destacar que o campo visual depende da posição do observador e que, se ele mudar de posição, o campo visual se altera. Fazer o exercício 5.

Mostrar graficamente o que ocorre quando o espelho se traslada, ou seja, afasta-se ou aproxima-se do observador fixo. Obter o deslocamento da imagem associado ao deslocamento do espelho. Mostrar a diferença que ocorre quando o espelho é fixo e o traslado é do observador. Associar deslocamentos com velocidades. Fazer o exercício 6.

Mostrar graficamente o que ocorre com o raio refletido quando um espelho gira em torno de um eixo contido em seu plano.

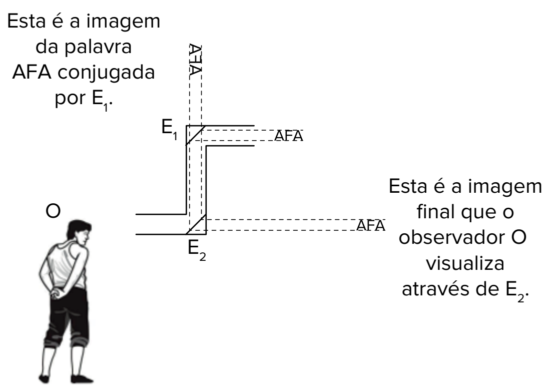
Apresentar a associação de dois espelhos cujos planos têm uma reta como intersecção. Obter graficamente as imagens no caso mais simples (90°) e caracterizá-las. Chamar a atenção dos estudantes para a imagem central que não é revertida em relação ao objeto. Apresentar o cálculo do número de imagens de forma intuitiva para esse caso da associação. Propor a discussão sobre o número de imagens em diferentes configurações.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. **D**

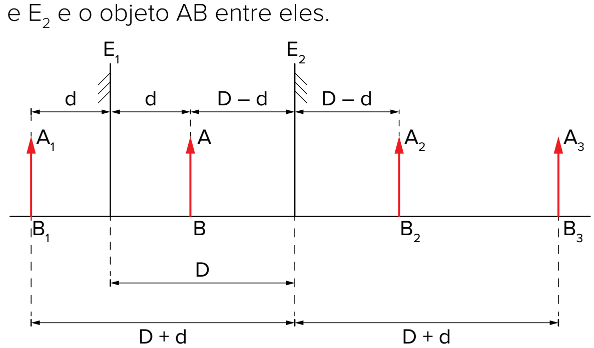
Vamos utilizar a imagem fornecida no enunciado para construir as duas imagens conjugadas pelo sistema de espelhos do periscópio.



E_1 conjuga uma imagem da placa com a inscrição AFA. Para E_2, o objeto é a imagem conjugada por E_1. Em ambos os casos, as distâncias do objeto ao espelho e da imagem ao espelho são iguais.

2. **C**

A ilustração representa a vista lateral dos espelhos E_1 e E_2 e o objeto AB entre eles.



Na ilustração, A_1B_1 é a imagem que E_1 conjuga de AB; A_2B_2 é a imagem que E_2 conjuga de AB; e A_3B_3 é a imagem que E_2 conjuga de A_1B_1.

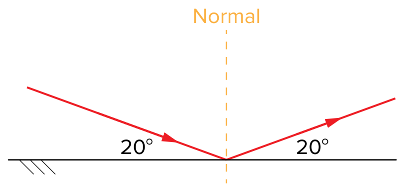
Desse modo, a distância *x* entre A_3B_3 e A_1B_1 é:

$x = D + d + D + d$

$x = 2D + 2d$

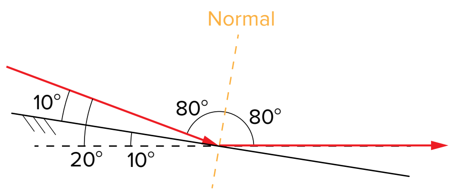
3. B

Situação inicial:



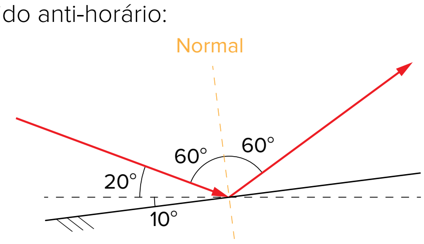
Há duas possibilidades de realizar o giro do espelho:

– Sentido horário:



Nessa situação, o raio refletido faz 80° com a reta normal à superfície

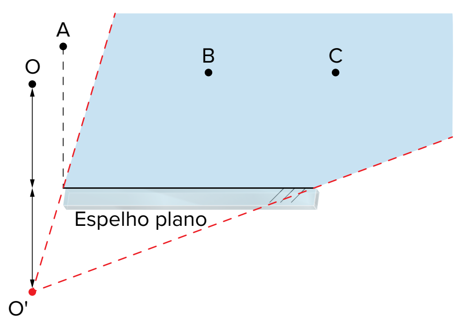
– Sentido anti-horário:



Nessa situação, o raio refletido faz 60° com a reta normal à superfície.

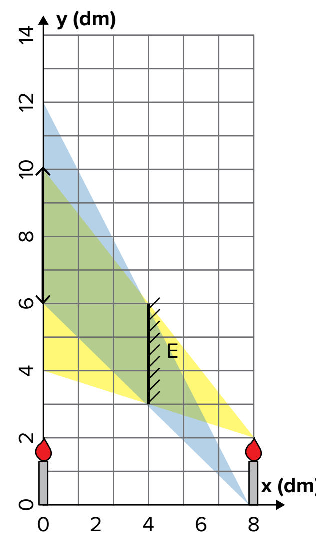
4. D

Pelo princípio da reversibilidade, podemos desenhar a imagem do observador e identificar seu campo visual.



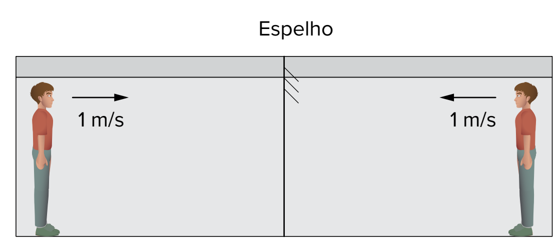
5. E

Usando o princípio da reversibilidade, podemos dizer que o observador só poderá enxergar a vela se esta puder "enxergar" o observador. Sendo assim, basta identificar a região que se encontra no campo visual das duas extremidades da vela simultaneamente. Representando o campo visual da parte de baixo da vela em azul e o da parte de cima em amarelo, temos:



6. B

O espelho produzirá uma imagem conjugada que replica o objeto simetricamente em relação ao plano do espelho. Sendo assim, temos:



O objeto e a imagem têm velocidades em sentidos opostos, de modo que eles estão se aproximando. Portanto, a velocidade relativa é obtida somando-se os módulos.

$$v_r = |v_o| + |v_i| = 1 + 1 \Rightarrow v_r = 2 \text{ m/s}$$

Inicialmente, comentar que os espelhos podem ter suas superfícies em diferentes configurações (planos, esféricos, parabólicos e cilíndricos) e que cada configuração pode apresentar resultados diferentes na conjugação de imagens. Indicar que será estudado apenas um desses casos de superfícies curvas: os espelhos esféricos.

Mostrar de forma simplificada, por meio de esquemas, como os espelhos esféricos podem ser obtidos a partir de uma esfera oca com superfície refletora, as chamadas calotas esféricas. Indicar a primeira classificação desses espelhos em função da face da calota que é espelhada – côncava ou convexa. Introduzir a notação geométrica desses espelhos indicando o centro de curvatura, o vértice e o eixo. Ressaltar o fato de que o centro de curvatura fica sempre "dentro da curva", mas pode estar à frente ou atrás do espelho, dependendo do caso.

Se julgar conveniente, apresentar o surgimento dos focos nesses espelhos quando da incidência de um feixe de raios luminosos paralelos e coaxiais. Explicitar a diferença entre foco real e foco virtual.

Com a representação geométrica completa, comentar as condições de nitidez de Gauss e apresentar os raios notáveis como ferramenta para a construção das imagens conjugadas por esses espelhos. Fazer o exercício 1.

Apresentar os casos de construção de imagens, na ordem que preferir, realçando a necessidade de dois raios notáveis como condição necessária e suficiente para a obtenção da imagem. Fornecer suas características, apontando o que mais chama a atenção: imagem real pode ser projetada, imagem ampliada pode facilitar a observação, imagem reduzida aumenta o campo de visão. Quando oportuno, mostrar onde esses espelhos têm aplicação prática fácil de ser identificada. Fazer os demais exercícios ao final ou quando julgar adequado de acordo com seu planejamento.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

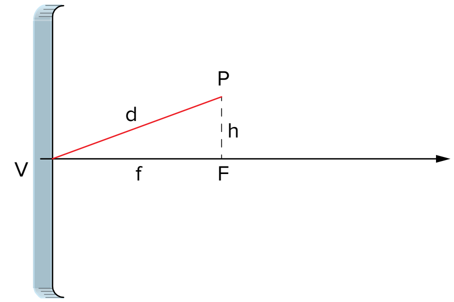
1. **C**

Por ter sido iluminado pela luz verde, o cilindro branco é visto pelos olhos humano na cor verde e o preto absorve a luz verde e é visto como preto. Sobre a imagem, pode ser invertida e maior, invertida e igual, invertida e menor ou virtual e direita, a depender da posição em relação ao vértice, ao foco e ao centro de curvatura.

2. Como a imagem formada pelo espelho é menor e necessariamente direita, concluímos que se trata de um espelho **convexo**, que sempre conjuga imagens **virtuais**, **menores** e **direitas**.

3. **C**

Sendo os raios paralelos, conclui-se que eles deverão convergir na mesma abscissa do foco.



De Pitágoras, podemos obter a distância focal:

$$d^2 = f^2 + h^2 \Rightarrow f = \sqrt{d^2 - h^2}$$

Lembrando que para espelhos gaussianos o foco é igual à metade do raio de curvatura, temos:

$$f = \frac{R}{2} \Rightarrow R = 2f \Rightarrow R = 2\sqrt{d^2 - h^2}$$

Uma das maneiras de iniciar o estudo analítico dos espelhos é retomar uma das construções da aula anterior e identificar as medidas relevantes na construção da imagem: tamanhos e distâncias. Apresentar o referencial de Gauss e a convenção de sinais para essas medidas.

Em seguida, lembrando as condições de nitidez de Gauss, mostrar que, com base em critérios de aproximação razoáveis, podem ser estabelecidas relações de semelhança de triângulos que levarão a equações envolvendo essas variáveis. A dedução detalhada dessas equações encontra-se no livro-texto, e, se julgar pertinente, indique-a como leitura de aprofundamento. Não julgamos que haja um ganho substancial na dedução dessas equações em sala. Por fim, apresentar as equações de Gauss para o tratamento analítico. É interessante reforçar que essas duas equações são suficientes para a resolução de qualquer problema dessa natureza, mas também é possível a utilização da equação de aumento linear, que facilita bastante em alguns casos: $A = \frac{f}{f-p}$.

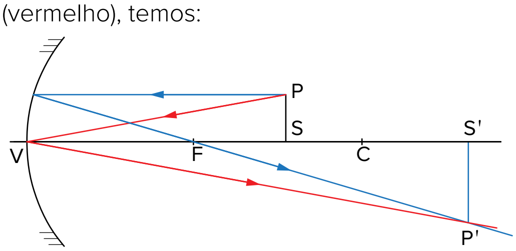
Sugerimos encerrar essa explanação teórica comentando o significado do aumento linear transversal, tanto com relação ao seu módulo quanto ao seu sinal. Mostrar que esse conceito também pode ser aplicado aos espelhos planos. Essa discussão favorece o entendimento da formação de imagens em espelhos esféricos e facilita a compreensão da abordagem semelhante para lentes.

Com relação aos exercícios, é possível optar por aplicá-los a cada etapa – por exemplo, apresentar a primeira equação e fazer os exercícios correspondentes, e assim por diante – ou fazê-los todos após a explanação teórica.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. a) Usando os raios auxiliares que incidem paralelamente ao eixo principal (azul) e no vértice (vermelho), temos:



b) Para descobrir o comprimento da imagem da placa, devemos identificar a abscissa da imagem de PS e de QR e fazer a diferença entre os valores. Sendo assim, devemos substituir os valores na equação de Gauss. Como o espelho é côncavo e o raio de curvatura é 160 cm, temos:

$$f = \frac{R}{2} = \frac{160}{2} \Rightarrow f = 80 \text{ cm}$$

Pela figura, percebemos que QR está sobre o centro de curvatura. Assim:

$$p_S = R - 40 \Rightarrow p_S = 120 \text{ cm}$$

Substituindo na equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p_S} + \frac{1}{p'_S} \Rightarrow \frac{1}{80} = \frac{1}{120} + \frac{1}{p'_S}$$

$$p'_S = 240 \text{ cm}$$

Procedendo do mesmo modo para a parte QR:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p_R} + \frac{1}{p'_R} \Rightarrow \frac{1}{80} = \frac{1}{160} + \frac{1}{p'_R}$$

$$p'_R = 160 \text{ cm}$$

A distância entre S' e R' é:

$$|p'_S - p'_R| = |240 - 160| \Rightarrow |p'_S - p'_R| = 80 \text{ cm}$$

2. **D**

Sendo um espelho gaussiano, a distância focal é a metade do raio de curvatura:

$$f = \frac{R}{2} = \frac{40}{2} \Rightarrow f = 20 \text{ cm}$$

A posição da imagem para o instante t = 0 é:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{20} = \frac{1}{60} + \frac{1}{p'} \Rightarrow p' = 30 \text{ cm}$$

Para que a imagem se aproxime 5 cm do espelho, a abscissa final da imagem deve ser 25 cm:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{20} = \frac{1}{p} + \frac{1}{25} \Rightarrow p = 100 \text{ cm}$$

O deslocamento do objeto foi:

$d = 100 - 60 \Rightarrow d = 40$ cm

Como o movimento era uniforme, temos:

$$\Delta t = \frac{d}{v} = \frac{40}{5} \Rightarrow \Delta t = 8 \text{ s}$$

3. D

Para a imagem ser menor, ela deve ser real e invertida.

Como o aumento linear transversal é $A_1 = -\frac{1}{2}$, temos:

$$A_1 = \frac{f}{f - p_1} \Rightarrow -\frac{1}{2} = \frac{f}{f - p_1} \Rightarrow p_1 = 3f$$

Para a imagem ter o dobro do tamanho do objeto, ela pode ser real ou virtual e o aumento linear transversal $A = \pm 2$. Considerando $p = p - 15$, obtemos:

$$A_2 = \frac{f}{f - p_2} \Rightarrow \pm 2 = \frac{f}{f - (p_1 - 15)} = \pm \frac{f}{f - 3f + 15}$$

$$\pm 2 = \frac{f}{15 - 2f}$$

A primeira solução é:

$$2 = \frac{f}{15 - 2f} \Rightarrow 30 - 4f = f \Rightarrow f = 6 \text{ cm}$$

Essa opção não consta entre as alternativas.
A segunda solução é:

$$-2 = \frac{f}{15 - 2f} \Rightarrow -30 + 4f = f \Rightarrow f = 10 \text{ cm}$$

Começar relembrando o fenômeno da refração da luz, em que parte do feixe luminoso incidente atravessa a superfície de separação entre dois meios ópticos. Ressaltar que o que caracteriza esse fenômeno é a mudança de meio com mudança de velocidade.

Representar graficamente o fenômeno da refração, comentando que, por simplicidade, apenas a luz refratada será desenhada, salvo em situações que abordem a reflexão junto à refração. Construir a representação típica do raio luminoso refratado apresentando desvio e identificar a reta normal e os ângulos correspondentes. Ao lado, representar a incidência normal, sem desvio, ressaltando que a refração também ocorre nos casos em que a velocidade se altera, mas que não há desvio.

Conceituar índice de refração absoluto e reforçar que se trata de uma grandeza adimensional que simplifica o estudo da refração ao relacionar as velocidades de propagação da luz, que são altíssimas, e cujos valores típicos são próximos da unidade. Mostrar que o índice de refração do vácuo é a unidade, como consequência da definição, sendo o menor valor de índice de refração absoluto. Comentar que o índice de refração do ar é ligeiramente maior do que o do vácuo, mas na maioria das situações será aproximado da unidade. Apresentar o termo "refringência", associado ao índice de refração, reforçando que, na linguagem usual, maior índice de refração significa maior refringência, e vice-versa. Explicar o índice de refração relativo e o fato de apresentar valores quaisquer. Fazer os exercícios correspondentes.

Apresentar as leis da refração e mostrar graficamente o desvio angular decorrente de refração em incidência oblíqua. Comentar o desvio do raio luminoso associado à relação entre os índices de refração dos dois meios, constituindo-se em estratégia preditiva do desenrolar do fenômeno, sem que haja necessidade de cálculos de comprovação. Fazer os exercícios correspondentes.

Retomar a ideia de desvio associado aos índices de refração e construir o conceito de ângulo limite por meio de uma estratégia gráfica. Nesse momento, relembrar que o feixe luminoso sempre se divide em reflexão, refração e absorção. Uma possibilidade é argumentar que a absorção em boa parte das interfaces pode ser desprezada, mas a reflexão, não. Conforme o ângulo do raio luminoso proveniente do meio mais refringente aumenta, a parcela de luz refratada diminui, enquanto a parcela de luz refletida aumenta. Ao atingir o ângulo crítico ou limite, a refração torna-se praticamente rasante à superfície, e a intensidade do feixe refratado é mínima. A partir desse ângulo, a refração deixa de existir, passando a ocorrer somente a reflexão, que, por se aproximar de 100%, é denominada **reflexão total**. Equacionar a lei de Snell-Descartes para a situação do ângulo limite, reforçando que se trata de um limite matemático, e não de uma igualdade. Apresentar a equação do seno do ângulo limite, generalizando na forma apresentada no resumo de aula. Fazer os exercícios correspondentes.

Havendo tempo, apresentar a fibra óptica e seu funcionamento, bem como suas aplicações tecnológicas, principalmente na transmissão de informação, como nos serviços ópticos de internet. Aplicações na Medicina, unindo a fibra óptica aos raios *laser*, também podem ser comentadas, pois mostram a versatilidade e o potencial dessa tecnologia.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. A

Da definição de índice de refração relativo, temos:

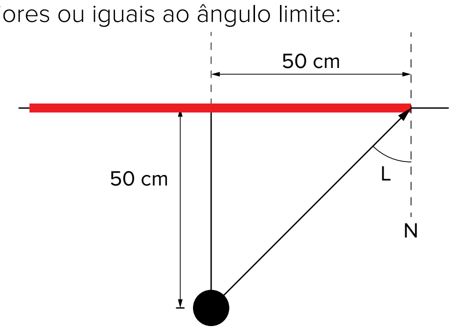
$$n_{1,2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{120\,000}{200\,000} \Rightarrow n_{1,2} = 0{,}6$$

2. E

Para que haja desvio do raio, é necessário que a refração ocorra associada a um ângulo de incidência diferente de zero. Raios que incidem normalmente na superfície não sofrem desvios.

3. C

Para garantir que o objeto não possa ser visto de fora da água, devemos garantir que nenhum raio vindo da pepita consiga escapar da água. Isso é possível quando todos os raios incidentes na interface água-ar sejam maiores ou iguais ao ângulo limite:



Sendo o triângulo retângulo isósceles, concluímos que L = 45°:

$$\text{sen}\,\hat{L} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{n} \Rightarrow n = \sqrt{2}$$

Essa aula é bastante densa e aborda três assuntos distintos. Por isso, um planejamento cuidadoso é fundamental. Se for o caso, escolher os exercícios que fará em sala antecipadamente, para que a explanação teórica, mesmo reduzida, não seja comprometida.

Dioptro plano

Definir dioptro plano e apresentar exemplos. Enfatizar que o caso do dioptro ar-água é o que mais costuma aparecer nos exercícios. Apresentar graficamente esse dioptro em duas situações: observador no ar e objeto dentro da água e observador na água e objeto no ar. Traçando um raio luminoso que se refrata com desvio, mostrar a formação da imagem virtual em posição aparente, correlacionando a representação à experiência prática: olhar para dentro de uma piscina e percebê-la mais rasa do que realmente é. Aproveitar e verificar se alguém tem a experiência oposta de olhar de dentro da água para fora e perceber as alturas aparentemente maiores. Comentar que, em aproximação matemática para pequenos ângulos de incidência, é possível equacionar o problema de forma simples. Em seguida, apresentar as equações e fazer os exercícios correspondentes.

Lâmina de faces paralelas

Conceituar lâmina de faces paralelas como um duplo dioptro, em que o meio circundante à lâmina pode ser o mesmo (caso de uma placa de vidro envolta por ar), ou não, comungando três meios opticamente distintos. Reforçar que trataremos de lâminas formadas por dioptros planos. Mostrar graficamente a trajetória do raio luminoso atravessando um dioptro envolto por um único meio e identificar os ângulos correspondentes. Investigar a simetria entre os raios, por se tratar de um único meio circundante e das faces serem planas e paralelas. Comentar que a cada refração também há uma parcela de luz refletida. Apresentar, sem demonstrar, a equação do desvio lateral. Mostrar também, de forma rápida e simplificada, o caso com três meios ópticos distintos. Resolver os exercícios correspondentes.

Prismas ópticos

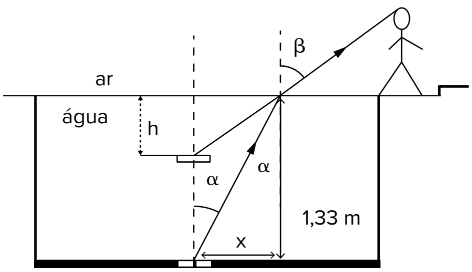
Apresentar o conceito de prisma óptico, se possível, associando-o ao conceito geométrico de prisma. Reforçar que serão abordados apenas os prismas de seção transversal triangular. Mostrar graficamente a trajetória do raio luminoso que atravessa o prisma, identificando cuidadosamente as retas normais a cada face e os ângulos associados. Deduzir as equações do prisma e comentar que conceitos básicos de Geometria são suficientes para se chegar a elas. Além de reforçar esses conhecimentos geométricos e aplicá-los a uma situação específica, treina-se a estratégia de abordagem matemática dedutiva de um fenômeno natural. Resolver os exercícios correspondentes.

Abordar a situação de desvio mínimo, se houver tempo. Caso contrário, fazer isso diretamente no exercício correspondente e remeter os estudantes ao livro-texto para reforço e aprofundamento. Pode-se comentar a reflexão total em prismas e seu uso preferencial a espelhos – caso do periscópio de prismas e câmeras fotográficas. Caso não haja tempo suficiente, apenas sugerir esses aprofundamentos no livro-texto.

Apresentar a constatação experimental da relação entre índice de refração e frequência de luz (se necessário, reforçar que esses conceitos serão abordados com maior profundidade no curso de Ondulatória) ou cor de luz. Comentar a relação entre os índices de refração das diferentes cores do espectro visível e a consequência disso na refração: mesmo ângulo de incidência levará a diferentes desvios na refração para cada cor de luz, obedecendo a uma ordem – da vermelha (menor desvio) para a violeta (maior desvio). Representar graficamente esse fenômeno na incidência de um feixe de luz branca em um prisma e sua consequente decomposição nas cores, chamada de dispersão da luz branca. Remeter os estudantes ao texto sobre o experimento de Newton, presente no livro-texto. Pode-se associar esse fenômeno ao arco-íris, destacando que a formação dele envolve também o fenômeno da interferência, portanto sua explicação é mais complexa que simplesmente a associação entre refração, reflexão total e dispersão. Fazer os exercícios correspondentes.

Exercícios de sala

1. B



Da lei de Snell, temos:
$\text{sen}\,\alpha \cdot n_{água} = \text{sen}\,\beta \cdot n_{ar}$
Usando a aproximação sugerida no enunciado:
$\text{tg}\,\alpha \cdot 1{,}33 = \text{tg}\,\beta \cdot 1$
$\frac{x}{1{,}33} = \frac{x}{h} \cdot 1 \Rightarrow h = 1{,}00\ \text{m}$

2. a) O princípio de Fermat afirma que a luz percorrerá o percurso que minimiza o tempo gasto para passar por dois pontos dados. Nesse caso, o desvio se justifica pela mudança da velocidade no vidro: a mudança na direção faz que a luz fique menos tempo onde tem menor velocidade, otimizando o tempo gasto para sair de 1 m e chegar a 3 m. A formulação quantitativa dessa propriedade é a lei de Snell-Descartes.

b) Da definição de índice de refração:

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow 1{,}5 = \frac{3 \cdot 10^8}{v} \Rightarrow v = 2 \cdot 10^8\ \text{m/s}$$

3. A

Afirmativa I: correta. Realmente, o índice de refração do material do prisma é diferente para cada cor, fazendo com que a luz solar sofra um desvio diferente quando incide nele obliquamente.
Afirmativa II: incorreta. Cada cor possui um comprimento de onda e uma velocidade de propagação distintos em diferentes meios. Por isso, sofrem desvios diferentes ao incidir e emergir do prisma.
Afirmativa III: incorreta. A recombinação, ou soma, desses comprimentos de onda (cores) resulta na cor branca.

Conceituar as lentes esféricas como um duplo dioptro, em que ao menos uma das superfícies é esférica. O meio circundante pode ser o mesmo ou não, mas reforçar que, geralmente, o meio circundante é um só.

Caso haja tempo e considere interessante, desenhar os seis tipos de lente e apresentar a técnica de nomenclatura com base nos raios de curvatura. Enfatizar que, nesse primeiro momento, o que diferencia cada lente é o desenho de seu perfil. Aproveitar e apresentar a primeira classificação de lentes de acordo com suas bordas.

Apresentar o esquema geométrico simplificado das lentes, sem defini-las como convergentes ou divergentes, indicando seus pontos principais. Ressaltar que, como são elementos refrativos, ambos os lados da lente devem ser observados em cada abordagem. Com esse esquema, mostrar o comportamento de um feixe luminoso de raios paralelos e coaxiais que atravessam a lente, definindo de forma empírica os focos objeto e imagem. Com base no comportamento óptico dos raios, classificar as lentes em convergentes e divergentes.

Para aproveitamento eficaz do tempo, sugere-se abordar superficialmente a refração em cada interface que leva a esse comportamento óptico. Se considerar oportuno avançar a esse nível de aprofundamento, utilizar uma lente plano-convexa e uma plano-côncava de vidro imersas no ar e traçar cuidadosamente o trajeto de dois raios luminosos paralelos e coaxiais, simétricos em relação ao eixo principal, mostrando a formação dos focos e depois generalizando para outras lentes com diferentes perfis.

Explicar que os comportamentos convergente e divergente também são afetados pela relação entre os índices de refração da lente e do meio, de modo que não se pode associar diretamente as bordas ao comportamento óptico. Comentar que, na maioria dos casos, consideram-se as lentes mais refringentes que o meio externo (em geral, ar), portanto essa associação poderá ser feita de forma cautelosa.

Apresentar os raios notáveis, relembrando a abordagem semelhante apresentada no estudo dos espelhos esféricos. Reforçar a diferença entre os espelhos e as lentes: nas lentes, os raios luminosos podem incidir nas duas faces. Nesse momento, comentar que, por simplificação, as lentes são consideradas simétricas, de modo que ambas as distâncias focais são iguais.

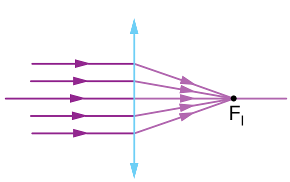
Apresentar a construção de imagens abordando os diferentes casos, caracterizando as imagens e, quando relevante, mostrando como as características da imagem em cada caso leva a uma aplicação tecnológica importante e comum no cotidiano. Fazer os exercícios correspondentes, distribuindo-os ao logo da explanação teórica ou ao final, como julgar conveniente.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. **C**

A lente convergente tem a propriedade de convergir todos os raios que incidem paralelamente ao eixo principal no foco.



2. **C**

Os raios que passam pelo vértice não sofrem desvio, independentemente de a lente ser convergente ou divergente.

Já os raios que incidem paralelamente ao eixo principal na lente convergente saem na direção do foco.

O oposto ocorre na lente divergente: raios que incidem na direção do foco saem paralelamente ao eixo principal.

3. **C**

Como a imagem é invertida, o objeto deve estar além do foco. Para que a imagem tenha o mesmo tamanho, o objeto deve estar no ponto antiprincipal ($p = 2f$).