

A imagem fornecida pelo microscópio ótico é ampliada, invertida e virtual. A objetiva fornece uma imagem ampliada, invertida e real (I_1). A ocular atua sobre a imagem obtida pela objetiva fornecendo um imagem ampliada, direita relativamente a I_1 e virtual (I_2).

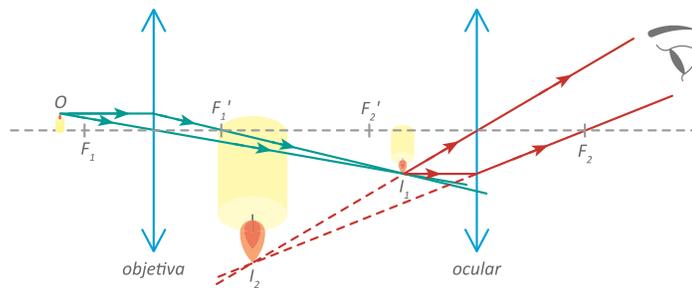


Figura 106 – Formação da imagem num microscópio.

– Quando se tenta ver objetos muito distantes usam-se instrumentos telescópicos que permitem formar imagens mais próximas do observador.

O **telescópio** usa-se frequentemente nas observações astronómicas. A grande amplificação é conseguida pela conjugação de um espelho parabólico montado numa extremidade de um tubo, e um espelho plano no interior do tubo. O espelho curvo dá uma imagem real, do objeto, que serve de objeto para o espelho plano. O observador vê a imagem ampliada formada no espelho plano através de uma lente, que funciona como lupa.



Figura 107 – Telescópio.

2.2 Espelhos

Um espelho é uma superfície polida que reflete, regularmente, a luz. Os espelhos podem ser planos ou curvos.

2.2.1 Espelhos planos

Caraterísticas da imagem num espelho plano:

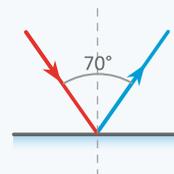
- Tem o mesmo tamanho do objeto;
- É simétrica em relação ao plano definido pelo espelho;
- A distância do objeto ao espelho é igual a distância da imagem ao espelho;
- É direita;
- É virtual pois não se consegue projetar num alvo, parecendo estar atrás do espelho.

Questão Resolvida

1. Um raio luminoso incide na superfície de um espelho plano, fazendo um ângulo de 70° com o raio refletido. Determine o valor do ângulo de reflexão.

Resposta:

1. O valor do ângulo é 35° .



2.2.2 Espelhos esféricos

A superfície refletora dos espelhos curvos é curva. A forma desta pode ser cilíndrica, parabólica ou esférica.

Os espelhos esféricos são calotes esféricas polidas, podendo ser convergentes ou divergentes. Um espelho considera-se **convergente** sempre que a curvatura vista pelo raio incidente é côncava e **divergente** quando a curvatura vista pelo raio incidente é convexa.

A aplicação dos espelhos côncavos vai desde os faróis de automóveis ou dos motocicletos, aos espelhos dos telescópios.

Os espelhos convexos podem ser encontrados nos retrovisores dos automóveis, nos espelhos de cruzamentos de algumas ruas e espelhos de segurança de supermercados.

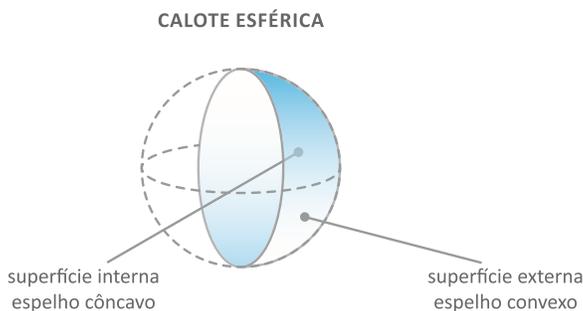


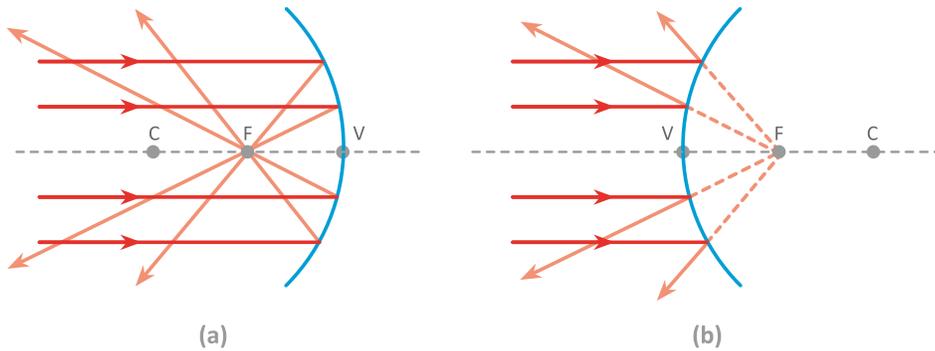
Figura 108 – Definição de superfície côncava e convexa.

À semelhança das lentes, ocorre formação de imagens virtuais ou reais. Contudo, nos espelhos só ocorre reflexão, sendo necessário alterar a convenção dos sinais, das distâncias e dos raios de curvatura envolvidos. O referencial será o vértice do espelho ou seja as distâncias imagem, objeto e focal serão medidas a partir do vértice. As distâncias medidas a favor da luz incidente são positivas e contra são negativas. Esta convenção é válida para espelhos esféricos côncavos e convexos.

De uma forma geral tem-se:

- Raios de curvatura e distâncias focais de espelhos côncavos são positivos e de espelhos convexos negativos;
- Distâncias de objetos e imagens reais são positivas e de objetos e imagens virtuais negativas;
- Imagem direita é positiva e invertida negativa.

Quais os elementos de um espelho esférico?



C – Centro de curvatura

V – Vértice do espelho

Eixo principal do espelho – Reta que passa pelo centro de curvatura e vértice do espelho

R – Raio de curvatura do espelho

F – Foco do espelho

Figura 109 – Elementos de um espelho esférico: a) côncavo; b) convexo.

Para se determinar a localização do foco do espelho basta considerar raios que incidam provenientes de um objeto situado no infinito. Estes raios são paralelos e, quando refletidos, passam pelo foco. Observe-se que o foco para espelho esférico convexo é obtido na interseção dos prolongamentos dos raios refletidos com o eixo principal.

Fisicamente o foco seria onde estaria localizada a imagem de um objeto situado no infinito. Geometricamente pode-se verificar que a distância focal é igual à metade do raio de curvatura.

$$f = \frac{R}{2}$$

Como se formam as imagens num espelho esférico?

As leis da reflexão da luz também se verificam nos espelhos esféricos, côncavos e convexos.

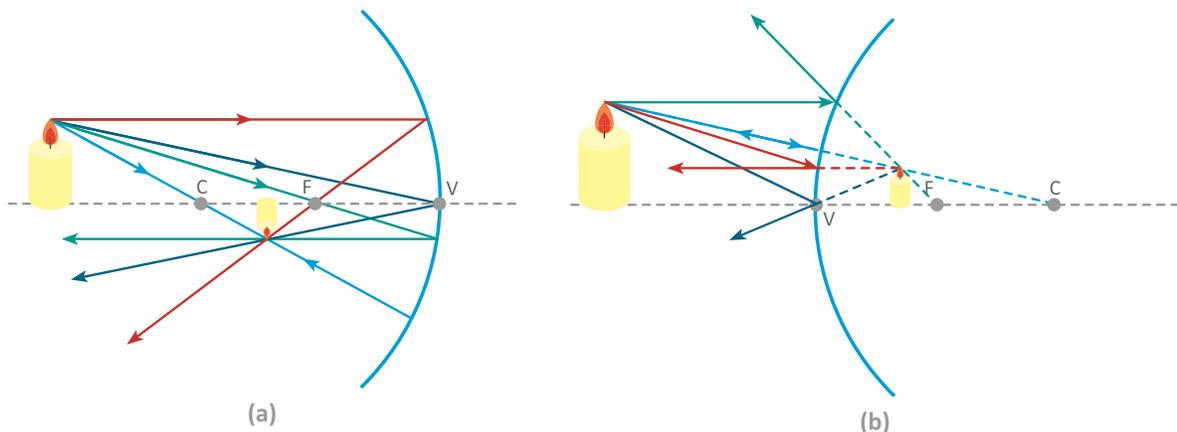


Figura 110 – Construção de imagens: a) espelho esférico côncavo; b) espelho esférico convexo.

São utilizados quatro raios básicos para a construção de imagens:

- O raio que incide paralelo ao eixo principal, reflete-se passando pelo foco;
- O raio que incide passando pelo foco, reflete-se paralelo ao eixo principal;
- O raio que incide passando pelo centro de curvatura, reflete-se sobre si mesmo;
- O raio que incide sobre o vértice formando um ângulo, reflete-se com o mesmo ângulo.

Considere-se um espelho esférico, de raio R , cuja curvatura, vista pelo raio incidente é côncava, e um objeto de altura h localizado a uma distância s_o do vértice, além do centro de curvatura, como apresentado na figura 111. A imagem formada localiza-se a uma distância s_i do espelho e tem altura h' .

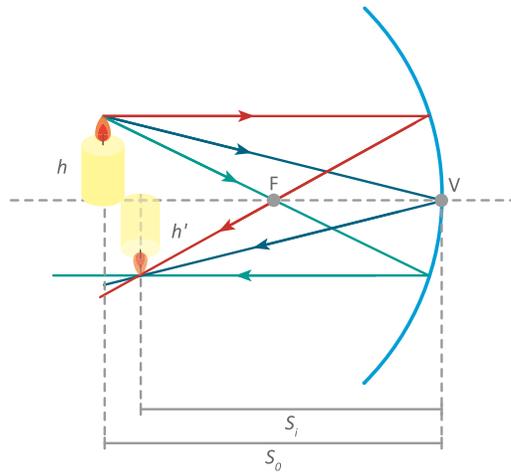


Figura 111 – Formação de imagem em espelho côncavo.

A equação de Gauss relaciona a distância objeto, s_o , a distância imagem, s_i , e a distância focal, f . É dada pela expressão:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i}$$

A **amplificação linear** é definida como a razão $M = \frac{h'}{h}$ ou $M = -\frac{s_i}{s_o}$.

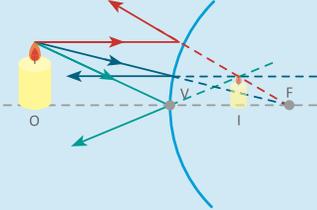
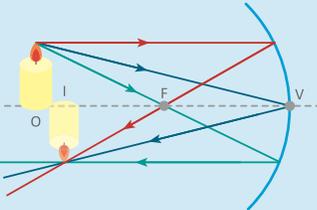
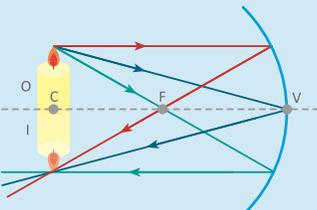
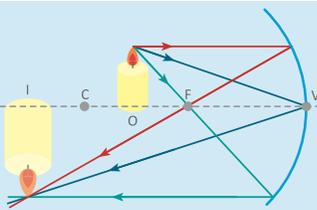
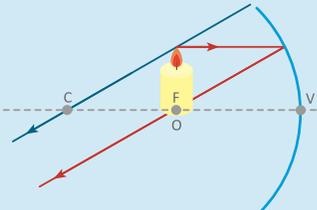
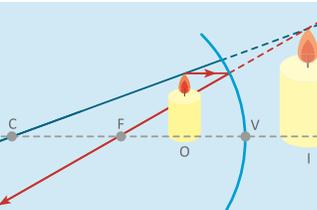
Tipo de espelho	Posição do objeto em relação à lente	Características da imagem
Convexo	 <p>Qualquer</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Virtual – Direita – Menor do que o objeto
Côncavo	 <p>Além do centro de curvatura</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Real – Invertida – Menor do que o objeto
Côncavo	 <p>No centro de curvatura</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Real – Invertida – Do mesmo tamanho do objeto
Côncavo	 <p>Entre o centro de curvatura e o foco</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Real – Invertida – Maior do que o objeto
Côncavo	 <p>No foco</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Características indeterminadas, a imagem forma-se no infinito
Côncavo	 <p>Entre o foco e o vértice</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Virtual – Direita – Maior do que o objeto

Tabela 14 – Características das imagens formadas em espelhos esféricos.

2.3 Fibras óticas

O fenómeno da reflexão total da luz aplica-se também nas fibras óticas, que são constituídas por longos tubos feitos de um material flexível.



Figura 112 – Fibra ótica.

A luz incidente numa das extremidades da fibra ótica experimenta uma sucessão de reflexões totais, sendo canalizada até à outra extremidade.

As fibras óticas são constituídas por um núcleo, de maior índice de refração, e por um revestimento, de menor índice de refração. São extremamente finas, pois o diâmetro do núcleo, através do qual a luz se propaga, varia entre 10 μm e 200 μm .

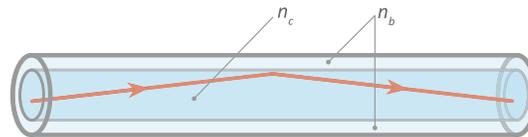


Figura 113 – A fibra ótica baseia o seu funcionamento na reflexão total.

As fibras óticas são utilizadas na Medicina, nomeadamente nos endoscópios, como o da figura 114, e permitem fotografar e observar o interior do corpo humano. Transportam a luz até ao órgão interno que se pretende examinar e fazem parte dos sistemas óticos destinados a trazer para o exterior a imagem do órgão iluminado. Hoje, as fibras óticas estão sobretudo a ser desenvolvidas e utilizadas na transmissão de informação. São um meio privilegiado para a transmissão de grande fluxo de sinais, sob a forma de impulsos luminosos, quer sejam dados de computador, conversas telefónicas ou emissões de televisão.

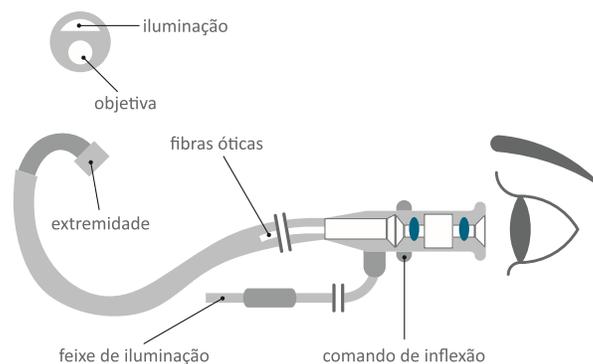


Figura 114 – Endoscópio.

Atividade Prático-Laboratorial

APL C-1.1: Características das imagens em espelhos

Questão-problema: Os espelhos, planos e curvos, têm utilidade no nosso dia a dia?

Objetivo: Verificar experimentalmente as leis da reflexão e as características das imagens.

Questões pré-laboratoriais:

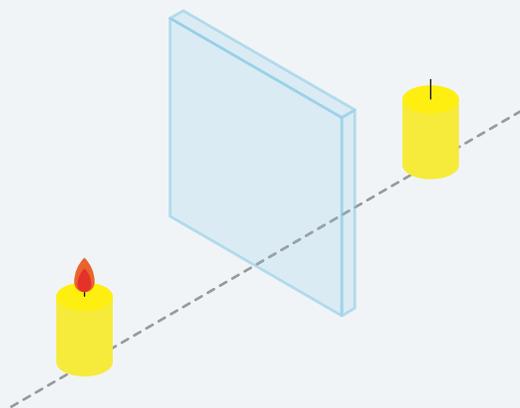
1. Identifique algumas aplicações dos espelhos no dia a dia.
2. Como vemos os objetos refletidos pelos diferentes tipos de espelhos?

Recursos:

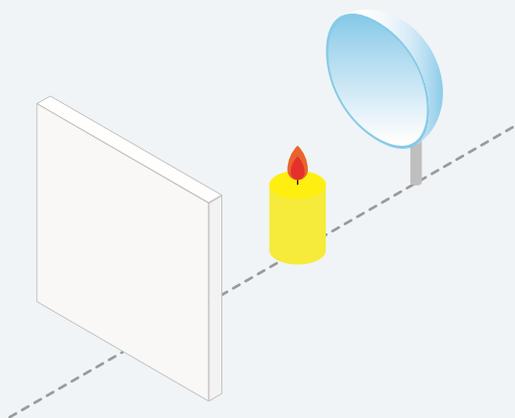
- Placa de vidro
- Régua
- Plasticina
- Ecrã (cartão branco)
- 2 Lamparinas iguais
- Banco de ótica
- Espelho côncavo $f = +25$ cm
- Vela
- Fósforos
- Alvo
- Espelho convexo $f = -25$ cm
- Fita métrica

Procedimento:

1. Fixe a placa de vidro perpendicularmente a uma folha de papel.
2. Coloque uma lamparina a uma certa distância da placa de vidro. Aproxime e afaste a lamparina, procurando projetar a imagem da lamparina.
3. Acenda a lamparina.
4. Coloque a lamparina apagada do outro lado do vidro, de modo a parecer coincidir com a imagem vista atrás do vidro.
5. Registe as características da imagem obtida.



6. Efetue a montagem mostrada na figura seguinte.



7. Realize 4 ensaios, colocando a vela a diferentes distâncias do espelho e, em cada ensaio desloque a posição do alvo até encontrar uma imagem nítida da chama projetada no alvo. Caso não observe a imagem no alvo, olhe diretamente para o espelho.

8. Registe, em cada caso, a posição e o tamanho da imagem em relação ao objeto.

9. Substitua o espelho côncavo pelo espelho convexo e proceda da mesma forma.

Questões pós-laboratoriais:

1. Qual a relação entre as distâncias da lamparina e da sua imagem à placa de vidro?
2. Qual é a relação entre o tamanho da lamparina e da sua imagem?
3. Classifique cada uma das imagens obtidas nas quatro situações em real ou virtual, para cada espelho curvo.

Atividade Prático-Laboratorial

APL C-1.2: Os sistemas óticos e a reflexão total

Questão-problema: Como construir um periscópio?

Objetivo: Construção de um periscópio com material rudimentar e verificação da sua utilidade.

Questões pré-laboratoriais:

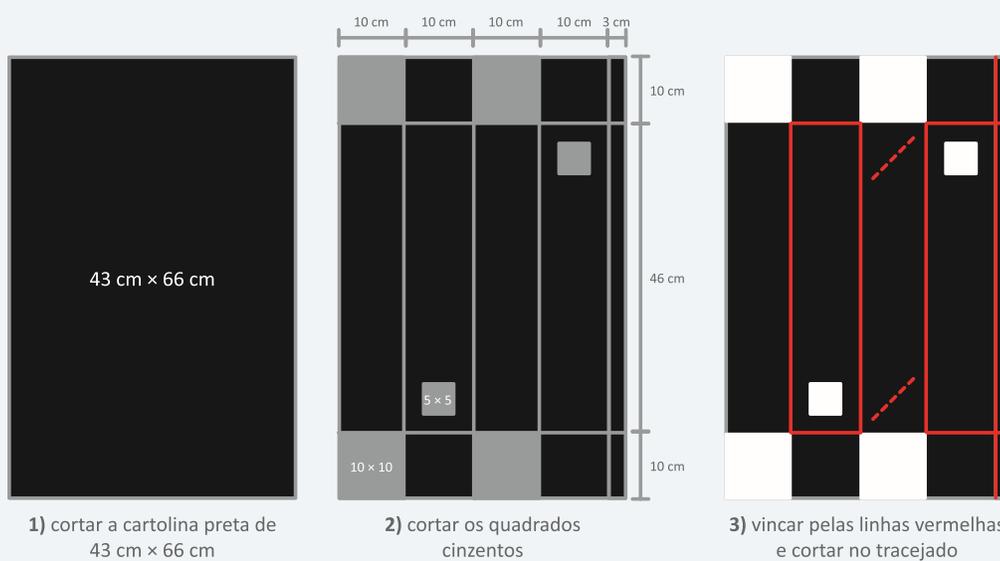
1. Identifique algumas aplicações dos periscópios no dia a dia.
2. Projete o sistema ótico de um periscópio e represente o diagrama de raios luminosos.

Recursos:

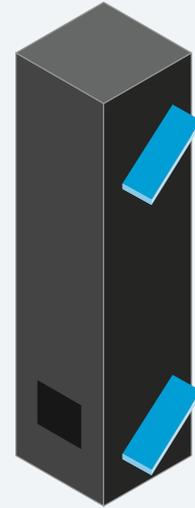
- Cartão ou cartolina preta
- Dois espelhos planos (9 cm por 14 cm)
- Tesoura

Procedimento:

1. Planifique e recorte o cartão de forma a obter um paralelepípedo, cuja largura é inferior ao comprimento do espelho plano (43 cm por 66 cm).



2. Faça duas ranhuras diagonais, 45° em relação ao plano definido pela base, em lados opostos do paralelepípedo, com o comprimento do espelho plano, como mostra a figura.
3. Efetue a montagem do paralelepípedo planejado.
4. Enfie os espelhos nas ranhuras com os lados espelhados virados um para o outro.
5. Desenhe um quadrado no topo do paralelepípedo em frente ao espelho. Recorte-o e retire-o.
6. Efetue um buraco, no lado oposto, ao nível do outro espelho para que seja possível observar.
7. Olhe pelo buraco para espreitar por cima de obstáculos.



Questões pós-laboratoriais:

1. Quais as características da imagem obtida através do periscópio?

Atividade Prático-Laboratorial

APL C-1.3: Distância focal e vergência

Questão-problema: Como determinar a vergência de uma lente?

Objetivo: Determinação da vergência de uma lente, a partir da distância focal.

Questões pré-laboratoriais:

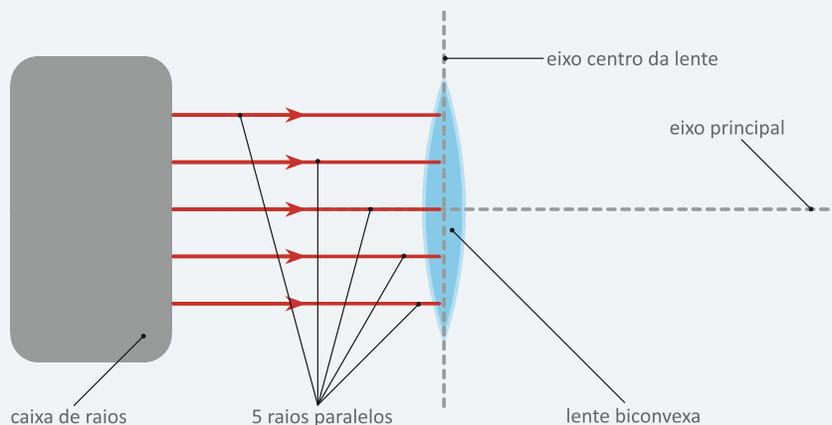
1. É costume afirmar que, muitos incêndios florestais são provocados por objetos de vidro abandonados. Procure uma justificativa para essa afirmação.
2. Indique como se localizam as imagens obtidas através de uma lente.

Recursos:

- Caixa de raios
- 2 Lentes convergentes
- 1 Lente divergente
- Folhas de papel A4
- Régua
- Lápis

Procedimento:

1. Numa folha de papel desenhe o perfil de uma lente convergente.
2. Trace uma linha a unir os bordos da lente e outra linha perpendicular àquela, eixo principal, como se ilustra na figura.



3. Usando a caixa de raios, localize os focos da lente e meça a distância focal.
4. Proceda da mesma forma para as outras lentes.
5. Regule a caixa de raios apenas para um raio.
6. Trace o percurso do raio luminoso que incida na lente nas seguintes situações:
 - a. Paralelo ao eixo principal;
 - b. A passar pelo foco da lente;
 - c. No ponto em que o eixo principal interseja a lente.
7. Proceda da mesma forma para as outras lentes.

Questões pós-laboratoriais:

1. Qual a potência de cada lente?
2. Onde se localizam as imagens em cada lente?

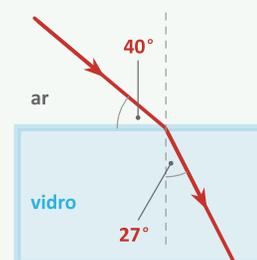
Resumo

- Os meios dizem-se transparentes quando se deixam atravessar pela luz e opacos quando não se deixam atravessar.
- Um meio diz-se translúcido quando a luz se difunde e não se consegue ver com nitidez os objetos que se encontram do outro lado.
- Na ausência de difração, a luz visível propaga-se retilineamente.
- O índice de refração de um material, n , é dado por $n = \frac{c}{v}$.
- O fenómeno da refração da luz obedece à Lei de Snell-Descartes, $n_1 \sin \hat{i} = n_2 \sin \theta$.
- A reflexão total ocorre quando a luz provém de um meio óticamente mais denso, incidindo com um ângulo superior ao ângulo crítico.
- As lentes são meios óticos transparentes, limitados por uma ou duas superfícies curvas.
- As lentes podem ser convergentes ou divergentes.
- A potência da lente ou vergência, C , é dada por $C = \frac{1}{f}$.
- As anomalias da visão humana mais comuns são a miopia e a hipermetropia.
- Um espelho é uma superfície polida que reflete, regularmente, a luz.
- Os espelhos podem ser planos ou curvos, e as imagens obtidas têm características diferentes, pois refletem a luz de maneiras diferentes.

Questões para Resolver

1. A figura representa a mudança de direção de um raio de luz, que passa do ar para o vidro.

- 1.1. Qual o valor do ângulo de incidência?
- 1.2. Qual o valor do ângulo de refração?
- 1.3. Em qual dos meios a luz se propaga com menor velocidade?
- 1.4. Calcule o índice de refração do vidro.



2. Considere lentes L_1 , L_2 e L_3 com vergências de 2,0 dioptrias, $-1,0$ dioptrias e 3,0 dioptrias, respectivamente.

Indique:

- 2.1. As lentes convergentes.
- 2.2. A distância focal das lentes.
- 2.3. As lentes em que o foco primário é virtual.
- 2.4. As lentes que podem ampliar o tamanho de um objeto quando se olha através delas.

3. As lentes dos óculos do Raimundo têm $-3,0$ dioptrias.

- 3.1. De que tipo de lentes se trata?
- 3.2. Calcule a distância focal das lentes.
- 3.3. A imagem, sem óculos, forma-se antes ou depois da retina?

4. Um feixe de luz de comprimento de onda igual a 750×10^{-9} m, no vácuo, atravessa um bloco de vidro de índice de refração igual a 1,50. Determine:

- 4.1. A velocidade de propagação da onda no vidro.
- 4.2. O comprimento de onda da luz no vidro.

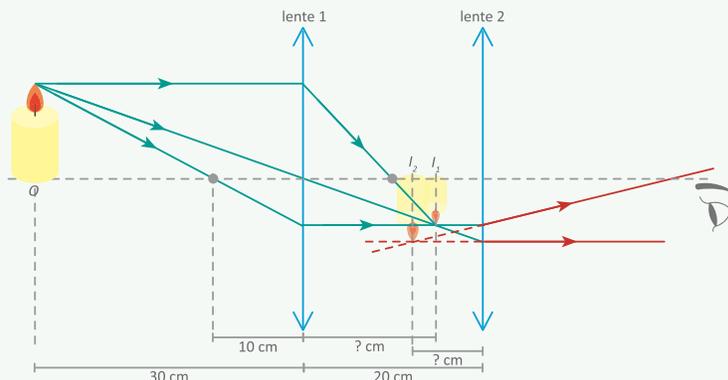
5. Uma lente convergente fornece de um objeto situado a 15 cm de seu centro óptico uma imagem real a 45 cm de lente. Determine:

- 5.1. A distância focal e a vergência da lente.
- 5.2. O aumento linear transversal da imagem.

6. Um espelho esférico fornece de um objeto uma imagem direita e 3 vezes maior. A distância entre o objeto e a imagem é de 2 m.

- 6.1. Caracterize o espelho em côncavo ou convexo.
- 6.2. Calcule a distância focal do espelho.

7. Considere o esquema óptico representado na figura.



7.1. Caracterize:

7.1.1. A imagem obtida para a lente 1.

7.1.2. A imagem obtida para a lente 2.

7.2. Calcule:

7.2.1. A distância da imagem 1 à lente 1.

7.2.2. A ampliação da imagem 1.

7.2.3. A distância da imagem 2 à lente 2.

7.2.4. A ampliação da imagem 2.

8. Uma fibra ótica tem o comprimento de 6,0 km e o diâmetro de 100 μm . O índice de refração do núcleo é de 1,49 e o valor do ângulo crítico na fronteira núcleo-revestimento da fibra é de 81° .

8.1. Calcule o tempo que a radiação demora a atravessar o interior da fibra ótica, supondo que a direção de propagação da radiação é, praticamente, retilínea.

8.2. Determine o índice de refração do revestimento da fibra ótica.

9. Na figura está representada a trajetória de um raio que incide na extremidade de uma fibra ótica, cujo ângulo crítico da superfície de separação entre o núcleo e o revestimento tem o valor de $73,2^\circ$.



9.1. Compare, justificando, o índice de refração do material do revestimento, n_r , com o do núcleo, n_n , da fibra ótica.

9.2. Determine o valor do ângulo α e conclua se o raio incidente representado na figura se propaga completamente ao longo da fibra ótica.



Glossário (p.156)

Soluções das Questões
para Resolver (p.158)

Glossário

Amplitude – Medida da magnitude do afastamento máximo em relação à posição de equilíbrio da grandeza que sofre vibrações.

Albedo dum planeta – Energia solar refletida pelo planeta.

Capacidade térmica mássica – Quantidade de energia que é necessário transferir por unidade de massa para que experimente uma variação de temperatura de 1 K (ou de 1 °C).

Caudal volumétrico – Volume de fluido que passa numa secção reta por unidade de tempo.

Célula fotovoltaica – Dispositivo que produz energia elétrica a partir de energia solar.

Comprimento de onda – Distância entre duas magnitudes iguais consecutivas em relação à posição de equilíbrio da grandeza que sofre vibrações.

Comprimento focal – Distância do centro de uma lente ou espelho curvo até uma posição na qual a luz irá convergir num ponto.

Condução térmica – Transferência de calor sem transporte de matéria nos sólidos.

Condutividade térmica – Grandeza física que mede a capacidade dos materiais se deixarem atravessar pelo calor.

Convecção – Transferência de calor com deslocamento de matéria nos líquidos e gases.

Corpo negro – Corpo que absorve todas as radiações do espectro, sem qualquer reflexão ou transmissão.

Densidade – Grandeza física que se determina pelo quociente entre a massa e o volume.

Difração – Mudança na direção de uma frente de onda devido a um objeto.

Dioptria – Unidade de poder de refração duma lente, igual ao inverso do comprimento do foco da lente em metros.

Dispersão – Separação de luz policromática nas frequências que a compõe.

Dilatação térmica – Aumento do volume de um corpo ocasionado pelo aumento da sua temperatura.

Eclipse – Ocultação parcial ou total de um objeto por interposição de outro.

Espectro electromagnético – Ordenação das radiações eletromagnéticas de acordo com a energia ou com o comprimento de onda ou com a frequência.

Fluido ideal – Líquido ou gás incompressível e não-viscoso.

Frequência – Número de oscilações efetuadas por unidade de tempo.

Imagem real – Imagem formada pela luz que na verdade se foca no espaço.

Imagem virtual – Imagem formada pela luz que na verdade não se foca no espaço, não podendo ser projetada.

Impulsão – Força ascensional que um corpo sofre quando colocado num fluido.

Índice de refração – Característica de um material, dada pelo quociente entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz nesse material.

Lente – Meio óptico transparente, limitado por uma ou duas superfícies curvas.

Lente côncava – Lente com uma superfície curvada para dentro, que faz a luz divergir.

Lente convexa – Lente com a superfície curvada para fora, que faz a luz convergir.

Máquina térmica – Dispositivo capaz de converter calor em trabalho.

Monocromático – Luz ou outra radiação com uma única frequência ou comprimento de onda.

Onda – Perturbação oscilante de alguma grandeza física.

Ondas longitudinais – Aquelas em que a vibração ocorre na mesma direção de propagação da onda.

Ondas transversais – Aquelas em que a vibração é perpendicular à direção de propagação da onda.

Período – Tempo necessário para um ciclo completo de uma oscilação de uma onda.

Pressão – Grandeza escalar, dada pelo quociente do módulo da força pela área da superfície.

Refração – Fenômeno que ocorre quando uma onda passa de um meio para outro com índice de refração diferente.

Sistema termodinâmico – Sistema em que a energia interna resulta da soma das energias cinéticas das partículas do corpo com a energia potencial de interação entre elas.

Temperatura – Medida do grau de agitação das partículas constituintes de um corpo.

Termômetro – Dispositivo que mede a temperatura de um corpo.

Vergência duma lente – Característica duma lente, dada pelo inverso da distância focal.

Soluções das Questões para Resolver

Unidade A – Subtema 0

- $\lambda = 470 \text{ nm}$
- $\lambda = 4,4 \times 10^{-7} \text{ m}$
- $T = 30 \text{ }^\circ\text{R}$
- $T = -25,6 \text{ }^\circ\text{R} = -25,6 \text{ }^\circ\text{F} = -32 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T = 184,15 \text{ K}$
- $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\Delta T = 117 \text{ K}$

Unidade A – Subtema 1

- A – F; B – F; C – V; D – F
- Violeta
 - $T = 9,99 \times 10^3 \text{ K}$
- Troposfera
 - Nuvens, atmosfera e superfície da Terra
 - $E = 1,51 \times 10^9 \text{ J}$
- $P_x = 4,47 \times 10^{26} \text{ W}$
 - $\lambda_y = 2 \lambda_x$
 - Será possível se $r_x = 0,25 r_y$
- A – F; B – F; C – V; D – V; E – F
- $E_u = 2,6 \text{ kW}\cdot\text{h}$
 - $E_u = 9,36 \times 10^6 \text{ J}$
- $P_B > P_A > P_C$
 - O corpo melhor emissor é o melhor absorvedor. É o corpo B que absorve mais e a sua temperatura aumenta mais
 - B, pois emite mais radiação

Unidade A – Subtema 2

- $\alpha = 1,25 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- $L = 8,09 \text{ cm}$
- $\alpha = 1,0 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- $\Delta V = 24 \text{ cm}^3$

- $c_A = 627 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}); c_B = 1254 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K}); c_C = 3344 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- $c = 3000 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- $T = 35 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_f = 57,9 \text{ }^\circ\text{C}$
- $(Q/\Delta t)_{\text{Al}} = 3,0 (Q/\Delta t)_{\text{Fe}}$
- $R = 1180 \text{ J}$, da vizinhança para o sistema
- $W = 2220 \text{ J}$
 - $\eta = 74\%$
- $\eta = 14\%$

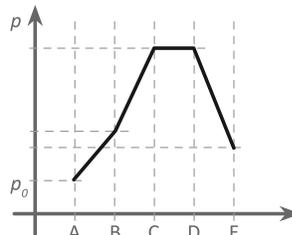
Unidade B – Subtema 0

- $m = 5,07 \text{ kg}$
- $p = 2,6 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
- O vetor impulsão tem ponto de aplicação no centro de massa do corpo, direção vertical, sentido de baixo para cima e intensidade $0,15 \text{ N}$
 - $m = 25 \text{ g}$
- A força resultante no submarino é a diferença entre a força gravítica e a impulsão. Quando o lastro se enche de água, o módulo da força da gravidade é superior ao módulo da impulsão fazendo com que o submarino desça. Quando se retira a água do lastro, o módulo da força da gravidade é inferior ao módulo da impulsão e o submarino sobe
- $m_q = 0,75 \text{ g}$

Unidade B – Subtema 1

1.1. $h_1/h_2 = 2$

1.2.



2. $m_b = 167 \text{ g}$
3. $V\% = 89,8 \%$
4. $F_2 = F_3 = 1200 \text{ N}$
5. $R = 1,2$
6. $F = 3,2 \times 10^3 \text{ N}$
7. $h = 39 \text{ m}$

Unidade B – Subtema 2

1. $v_B = 5,0 \text{ m/s}$
- 2.1. $\phi = 200 \text{ cm}^3/\text{s}$
- 2.2. $V = 2 \times 10^3 \text{ cm}^3$
3. B
4. $p_2 = 1,2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
5. A
6. $p_2 = 1,5 \times 10^2 \text{ kPa}$
- 7.1. $v = 4,0 \text{ m/s}$
- 7.2. $\phi = 40 \text{ cm}^3/\text{s}$
- 7.3. $D = 1,2 \text{ m}$
8. $\phi = 0,021 \text{ m}^3/\text{s}$

Unidade C – Subtema 0

- 1.1. $A = 10 \text{ m}$
- 1.2. $\omega = 2\pi 40 \text{ rad/s}$
- 1.3. $f = 40 \text{ Hz}$
- 1.4. $T = 0,025 \text{ s}$
- 1.5. $f = 40 \text{ Hz}$
2. $h = 3750 \text{ m}$
- 3.1. Período da A é o dobro
- 3.2. Frequência de A é metade
- 3.3. O comprimento de onda de A é o dobro
4. $d = 1700 \text{ m}$
- 5.1. $A_1 / A_2 = \frac{2}{3}$.
- 5.2. $f_1 / f_2 = \frac{4}{16} = \frac{1}{4}$

Unidade C – Subtema 1

- 1.1. $\hat{i} = 50^\circ$
- 1.2. $\theta = 27^\circ$
- 1.3. Vidro
- 1.4. $n_{\text{vidro}} = 1,69$
- 2.1. L1 e L3
- 2.2. $f_1 = 0,50 \text{ m}; f_2 = -1,0 \text{ m}; f_3 = 0,33 \text{ m}$
- 2.3. L2
- 2.4. L1 e L3
- 3.1. Lentes divergentes
- 3.2. $f = -0,33 \text{ m}$
- 3.3. Antes da retina
- 4.1. $v = 2,0 \times 10^8 \text{ m/s}$
- 4.2. $\lambda = 500 \times 10^{-9} \text{ m}$
- 5.1. $f = 11,25 \text{ cm}$
- 5.2. $M = 3$
- 6.1. Espelho côncavo
- 6.2. $f = 75 \text{ cm}$
- 7.1.1. Real, invertida e menor do que o objeto
- 7.1.2. Virtual, direita e maior que o objeto
- 7.2.1. $s_i = 15 \text{ cm}$
- 7.2.2. $M = 0,5$
- 7.2.3. $d = 6,67 \text{ cm}$
- 7.2.4. $M = 1,33$
- 8.1. $\Delta t = 2,0 \times 10^{-5} \text{ s}$
- 8.2. $n_r = 1,47$
- 9.1. $n_r < n_n$ porque a reflexão total só ocorre se a luz incidir na superfície de separação de um meio mais denso para um meio menos denso opticamente
- 9.2. $\alpha = 15,0^\circ$. Este valor corresponde a um ângulo de incidência entre o núcleo e o revestimento de $75,0^\circ$, que é superior ao ângulo crítico. Por isso vai ocorrer reflexão total e o raio propaga-se no interior da fibra ótica

