

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

# ÓPTICA GEOMÉTRICA

**Renan Schetino de Souza**

# -FÍSICA-

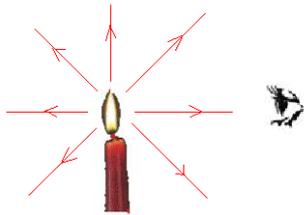
## ÓPTICA GEOMÉTRICA

### Introdução à Óptica Geométrica

Óptica é o ramo da física que estuda os fenômenos luminosos, bem como suas propriedades.

Os fenômenos estudados em Óptica Geométrica podem ser descritos com a simples noção de raio de luz e alguns conhecimentos de geometria. Assim, para representar graficamente a luz em propagação, como por exemplo, a emitida pela chama de uma vela, utilizamos a noção de raio de luz.

*Raios de luz são linhas orientadas que representam a direção e o sentido de propagação da luz*



- Velocidade da luz no vácuo:  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  (300.000 km/s)
- Ano luz: distância que a luz percorre em um ano:  $9,46 \times 10^{12} \text{ km}$ .

### Fontes de luz

#### Fontes primárias

São os corpos que emitem luz produzida por eles mesmos (corpos luminosos). Ex: O Sol, a chama de uma vela, lâmpadas elétricas, etc.

#### Fontes secundárias

São os corpos que reenviam para o espaço a luz que recebem de outros corpos (corpos iluminados). Ex: Lua, parede, roupas, etc.

Conforme a fonte, a luz pode ser:

#### *Simples ou monocromática*

De uma só cor. Ex: luz amarela emitida por vapor de sódio incandescente.

#### *Composta ou policromática*

Resulta da superposição de luzes de cores diferentes. Ex: luz branca emitida pelo sol que é a superposição de sete cores principais: vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

### A cor de um objeto

Quando um objeto é iluminado com luz branca, ele absorve algumas cores e reflete outras.

A cor do objeto é determinada pelas cores que ele reflete. Assim, por exemplo, um objeto é dito verde porque ao ser iluminado com luz branca ele reflete a luz verde e absorve todas as demais cores. Logo, um corpo que se apresenta branco, reflete as luzes de todas as cores. Um corpo negro absorve-as totalmente.

### Meios

Transparentes: Permitem a passagem de luz. Os objetos são vistos com nitidez. Ex: vidro comum, água em pequenas camadas e o ar.

Translúcidos: permitem a passagem parcial da luz, ocasionando a formação de uma imagem sem nitidez. Ex: vidro fosco, papel de seda e papel vegetal, etc.

Opacos: não permitem a passagem de luz. Ex: madeira e concreto.

### Princípio da propagação retilínea da luz

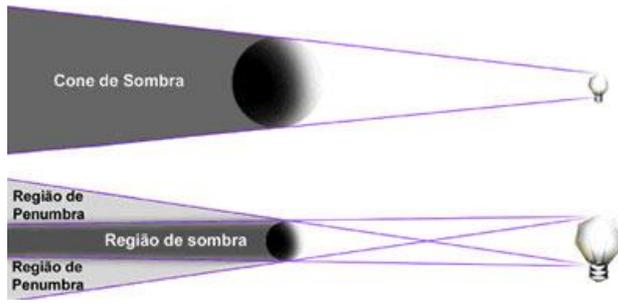
*Nos meios homogêneos e transparentes, a luz se propaga em linha reta.*

A propagação retilínea da luz é facilmente observável quando a luz do Sol penetra entre as árvores de uma floresta.



A projeção da sombra de um corpo sobre um anteparo evidencia que a luz se propaga em linha reta.

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA



-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

Quando a fonte de luz é extensa, a região onde ocorre a sombra é envolta por uma região parcialmente iluminada, denominada *penumbra*.

**ECLIPSE**  
Edípses acontecem quando a luz do Sol ou da Lua é bloqueada total ou parcialmente por um certo período de tempo

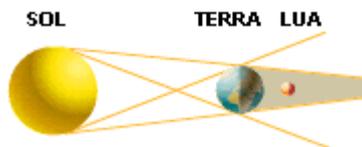
A Lua orbita a Terra, e ambas dão a volta no Sol. Quando há algum alinhamento entre eles, ocorre um eclipse

**HÁ DUAS FASES PRINCIPAIS:**

- 1 Quando a lua atravessa a chamada penumbra, apenas parte da luz solar é bloqueada
- 2 Na umbra, somente alguns raios que atravessam a atmosfera da Terra e são desviados chegam à Lua, dando ao satélite um tom avermelhado

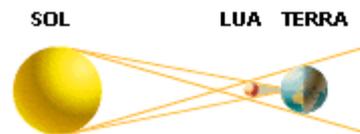
**ECLIPSES LUNARES E SOLARES**

Os **eclipses lunares** ocorrem de quatro a cinco vezes por ano, quando o Sol e a Lua se alinham em lados opostos da Terra.



Quando a Lua passa pela sombra da Terra, o disco lunar escurece e ganha tons do bronze

O **eclipse solar** acontece quando a Lua se alinha exatamente entre o Sol e a Terra

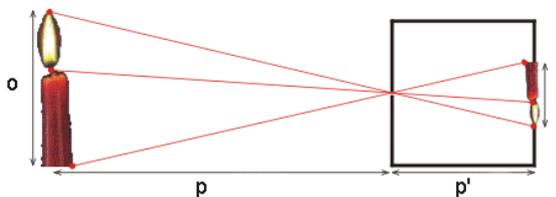


Por um curto período de tempo, a Lua bloqueia a luz do Sol. Mesmo assim, é possível observar a coroa solar brilhar e emitir radiação

<http://newalriadaexpress.blogspot.com/2007/03/o-homem-olhando-lua-sumir.html> (Acessado em 18/01/12)

**Câmara escura de orifício**

É uma caixa de paredes opacas, possuindo uma delas um pequeno orifício por onde a luz do objeto iluminado passa formando uma imagem invertida na parede oposta ao orifício.

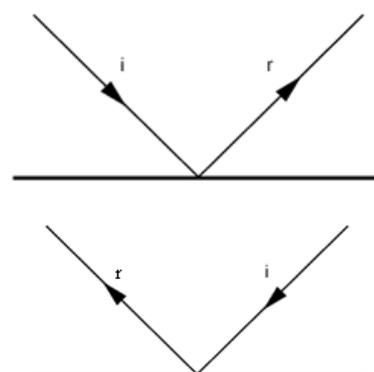


A relação entre a altura do objeto (*o*), a altura da imagem (*i*), a distância do objeto à câmara (*p*) e o comprimento da câmara (*p'*) é:

$$\frac{i}{o} = \frac{p'}{p}$$

**Princípio da reversibilidade dos raios de luz**

*A trajetória seguida pela luz independe do sentido de percurso.*



### Princípio da independência dos raios de luz

Quando raios de luz se cruzam, cada um deles segue seu trajeto como se os outros não existissem.



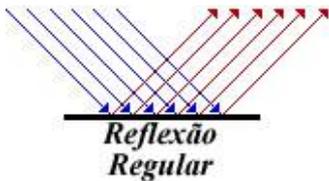
Os raios de luz se cruzam e continuam a se propagar como se nada tivesse ocorrido.

### Reflexão da luz

A luz, ao incidir sobre um objeto, pode ser refletida de duas maneiras:

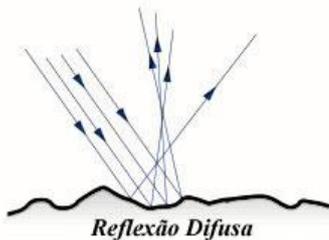
#### **Reflexão regular**

O feixe de raios paralelos retorna mantendo o paralelismo. É o que acontece sobre a superfície plana de um metal.



#### **Reflexão difusa**

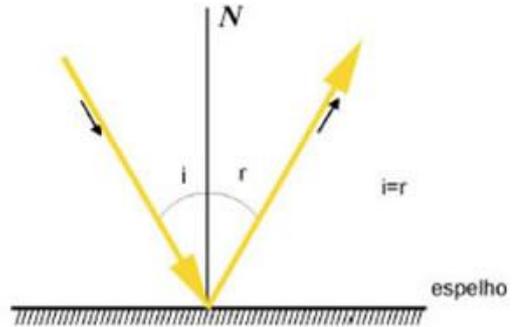
O feixe de raios paralelos retorna perdendo o paralelismo, espalhando-se em todas as direções.



A reflexão difusa é responsável pela visão dos objetos que nos cercam. Por exemplo, vemos uma parede porque ela reflete difusamente para nossa vista a luz que recebe. Você consegue ler um livro porque a luz que ilumina o ambiente incide sobre a folha e reflete em todas as direções.

### Leis da reflexão

Seja um raio de luz refletido por uma superfície refletora ou espelho.



Definindo uma normal (N) ao plano do espelho,  $i$  para o ângulo de incidência e  $r$  para o ângulo refletido, a reflexão da luz é regida pelas seguintes leis:

- o raio refletido, a normal e o raio incidente estão situados no mesmo plano.
- o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência:  $r = i$ .

### Espelhos planos

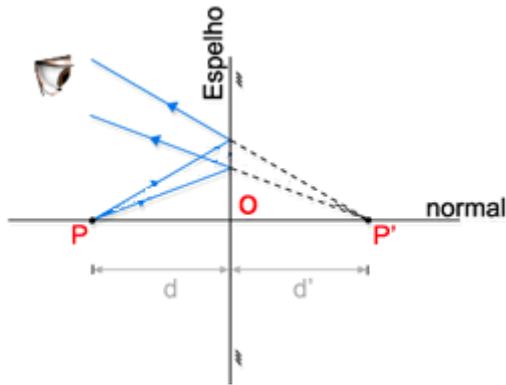
É toda superfície lisa e plana que reflete a luz de maneira regular. Ex: superfície de um metal polido, superfície de um lago, etc.



### Imagem no espelho plano

Seja P um ponto luminoso ou iluminado colocado na frente de um espelho plano. Considere dois raios luminosos que incidem no espelho e são refletidos posteriormente.

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA



- O ponto P, definido pela interseção efetiva dos raios incidentes sobre o espelho, é um *objeto real*.
- O ponto P', definido pela interseção dos prolongamentos dos raios emergentes (refletidos), é uma *imagem virtual*.

De um modo geral:

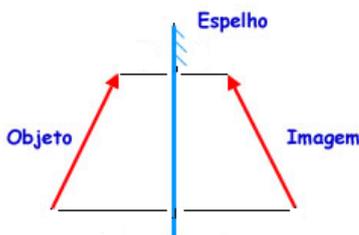
- Real: interseção efetiva de raios luminosos.
- Virtual: interseção de prolongamentos de raios luminosos

As imagens formadas por espelhos planos têm as seguintes características:

- O objeto e a imagem são equidistantes do espelho.
- Objeto e imagem têm naturezas contrárias: se o objeto é real, a imagem é virtual e vice-versa.

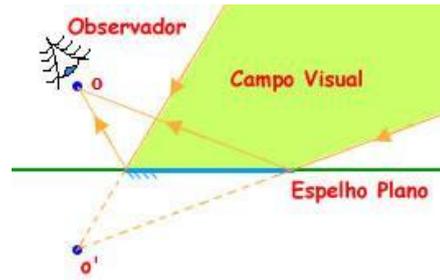
**Imagem de um objeto extenso**

Um objeto extenso pode ser considerado como um conjunto de pontos. A sua imagem será determinada ligando estes pontos e determinando suas respectivas imagens.



**Campo visual de um espelho plano**

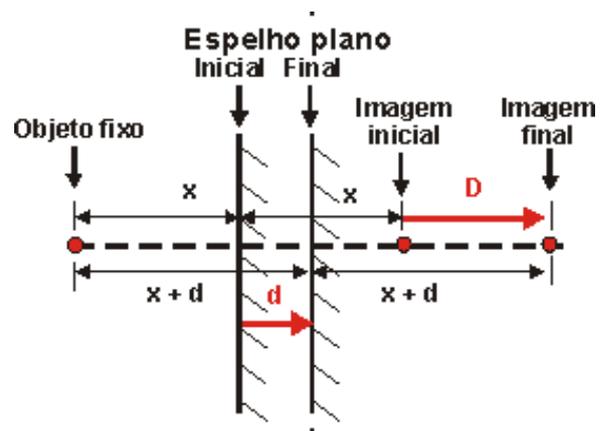
É a região que um observador frente a um espelho pode observar.



Pertencem ao campo visual todos os pontos que estiverem compreendidos na região delimitada pelas retas que ligam o' (imagem do observador) as extremidades do espelho.

**Translação de um espelho plano**

Seja um objeto fixo em frente a um espelho. Se este espelho sofrer uma translação de uma distância  $d$ , a imagem desse objeto sofrerá uma translação  $D$ .



É fácil ver pela figura acima que:

$$D = 2(x + d) - 2x$$

$$\boxed{D = 2d}$$

Como os deslocamentos do espelho e da imagem são simultâneos, a velocidade da imagem será o dobro da velocidade do espelho, pois a imagem percorre o dobro da distância do espelho no mesmo intervalo de tempo.

$$\boxed{v_i = 2v_e}$$

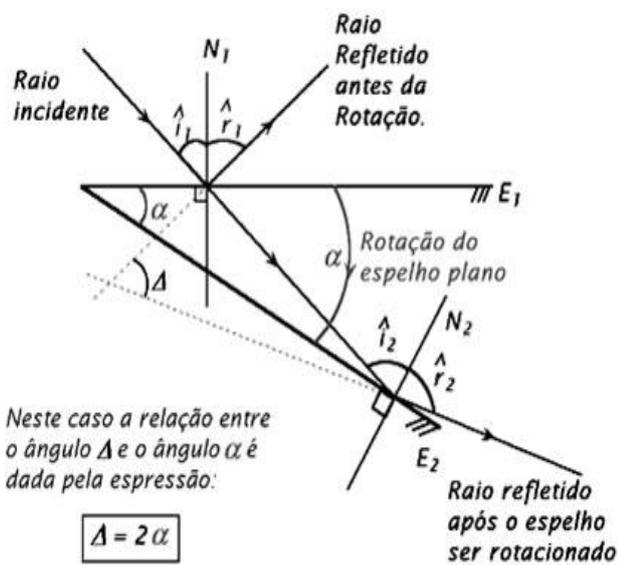
**Rotação de um espelho plano**

Seja um raio de luz refletido após incidir sobre um espelho plano. Se o espelho girar de um ângulo  $\alpha$ , o novo raio refletido formará um ângulo  $\Delta$

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

com o raio refletido anteriormente, cujo valor é o dobro do ângulo  $\alpha$ .

$$\Delta = 2\alpha$$



b) quando a relação  $\frac{360^\circ}{\alpha}$  é um número ímpar, estando o objeto no plano bissetor do ângulo  $\alpha$ .

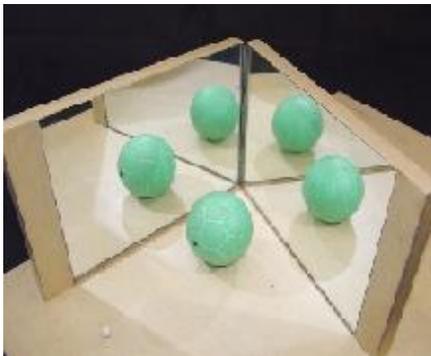
Exemplo resolvido: Qual o ângulo entre os dois espelhos na figura acima?

Como há a formação de 4 imagens ( $N = 4$ ), pela fórmula  $N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$ , temos:

$$4 = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1 \Rightarrow \alpha = \frac{360^\circ}{5} = 72^\circ$$

### Imagens em dois espelhos

Seja um objeto ou ponto entre dois espelhos, formando entre si um ângulo  $\alpha$ .



É possível calcular o número  $N$  de imagens formadas pela seguinte fórmula:

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$

Que é válida nos casos:

a) quando a relação  $\frac{360^\circ}{\alpha}$  é um número par, qualquer que seja a posição do objeto entre os dois espelhos;

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

**Exercícios: Conceitos básicos e espelhos planos**

1) Recentemente foi anunciada a descoberta de um sistema planetário, semelhante ao nosso, em torno da estrela Vega, que está situada a cerca de 26 anos-luz da Terra. Isto significa que a distância de Vega até a Terra, em metros, é da ordem de:

- a)  $10^{17}$
- b)  $10^9$
- c)  $10^7$
- d)  $10^5$
- e)  $10^3$

2) O motorista de um carro olha no espelho retrovisor interno e vê o passageiro do banco traseiro. Se o passageiro olhar para o mesmo espelho verá o motorista. Este fato se explica pelo:

- a) princípio da independência dos raios luminosos.
- b) fenômeno de refração que ocorre na superfície do espelho.
- c) fenômeno de absorção que ocorre na superfície do espelho.
- d) princípio da propagação retilínea dos raios luminosos,
- e) princípio da reversibilidade dos raios luminosos,

3) Um edifício iluminado pelos raios solares projeta uma sombra de comprimento  $L = 72,0$  m.

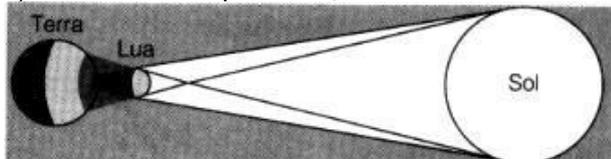
Simultaneamente, uma vara vertical de  $2,50$  m de altura colocada ao lado do edifício projeta uma sombra de comprimento  $\ell = 3,00$  m. Qual é a altura do edifício?

- a) 90,0 m
- b) 86,0 m
- c) 60,0 m
- d) 45,0 m
- e) n. d. a.

4) A imagem focada de uma árvore numa câmara escura dista  $50$  mm do orifício e tem uma altura de  $20$  mm. A árvore está a uma distância de  $15$  m do orifício. Qual a altura da árvore?

- a) 2 m
- b) 4 m
- c) 6 m
- d) 8 m
- e) 10 m

5) Durante um eclipse solar, um observador:



- a) no cone de sombra, vê um eclipse parcial.
- b) na região da penumbra, vê um eclipse total.
- c) na região plenamente iluminada, vê a Lua

eclipsada.

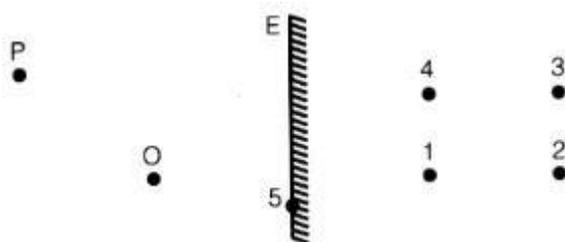
d) na região da sombra própria da Terra, vê somente a Lua.

e) na região plenamente iluminada, não vê o eclipse solar.

6) Entre uma fonte pontual e um anteparo coloca-se um objeto opaco de forma quadrada de área  $0,09$  m<sup>2</sup>. A fonte e o centro da placa estão numa mesma reta que, por sua vez, é perpendicular ao anteparo. O objeto encontra-se a  $1,50$  m da fonte e a  $3,00$  m do anteparo. A área da sombra do objeto, produzida no anteparo, em m<sup>2</sup>, é:

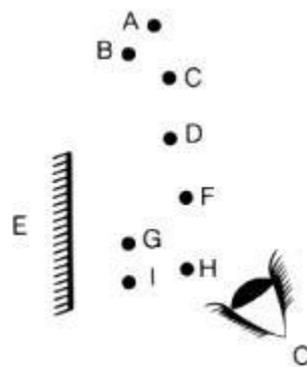
- a) 0,18
- b) 0,36
- c) 0,81
- d) 0,54
- e) 0,60

7) Um observador P se encontra em frente a um espelho plano E. Sendo O um objeto fixo, para que posição deve olhar o observador para ver a imagem de O?



- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 5

8) Diante do espelho plano E encontram-se o observador O e os pontos A, B, C, D, F, G, H e I. Os pontos que serão vistos por reflexão no espelho pelo observador são:

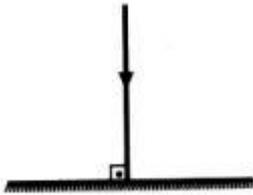


- a) A, B, H e I.
- b) C, D, F e G.
- c) C, D e F.
- d) nenhum.

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

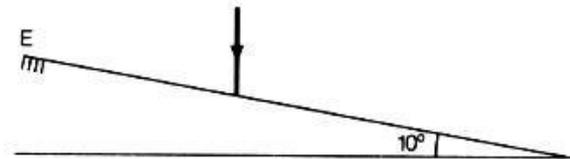
e) todos.

9) Um raio luminoso incide perpendicularmente sobre um espelho plano, conforme a figura abaixo. Portanto, esse raio:



- a) é absorvido pelo espelho.
- b) é refratado perpendicularmente ao espelho.
- c) é refratado rasante ao espelho.
- d) é refletido perpendicularmente ao espelho,
- e) é refletido rasante ao espelho.

10) Um raio de luz incide verticalmente sobre um espelho plano inclinado de  $10^\circ$  em relação a um plano horizontal. Pode-se afirmar que:



- a) o raio refletido também é vertical.
- b) o raio refletido forma ângulo de  $5^\circ$  com o raio incidente.
- c) o raio refletido forma ângulo de  $10^\circ$  com o raio incidente.
- d) o ângulo entre o raio refletido e o incidente é de  $20^\circ$ .

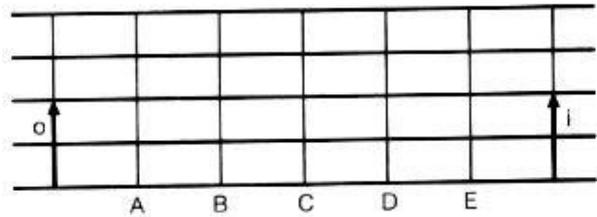
11) Um raio de luz incide em um espelho plano. O maior valor possível para o ângulo de reflexão desse raio é mais próximo de:

- a)  $45^\circ$
- b)  $60^\circ$
- c)  $90^\circ$
- d)  $120^\circ$
- e)  $180^\circ$

12) Um espelho plano fornece uma imagem de um objeto real:

- a) real e direita,
- b) real e invertida.
- c) virtual e invertida.
- d) real e menor.
- e) virtual e direita.

13) Na figura abaixo, deve-se colocar um espelho plano, de modo que  $i$  seja imagem do objeto  $o$ . A posição indicada para o espelho é:

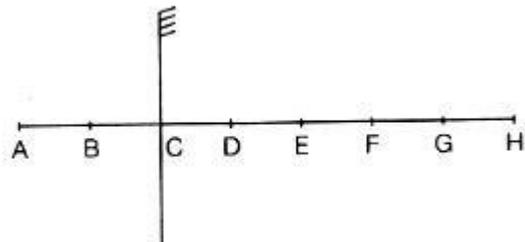


- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

14) Uma pessoa coloca diante de um espelho plano uma placa onde está escrita a palavra VESTIBULAR, Como a pessoa vê a imagem desta palavra conjugada no espelho?

- a)  $\wedge$  E S I I B U L A R
- b) V E S T I B U L A R
- c)  $\wedge$  E S I I B U L A R
- d) R A T U B I T S E V
- e) R A L U B I T S E V

15) Na figura está representado um espelho plano vertical e um eixo horizontal onde estão os pontos A, B, C, D, E, F, G e H, equidistantes entre si.



Se o espelho plano sofrer uma translação, passando do ponto C ao ponto D, a imagem de A vai passar:

- a) do ponto D para o ponto E.
- b) do ponto E para o ponto G.
- c) do ponto E para o ponto F.
- d) do ponto E para o ponto H.
- e) do ponto F para o ponto G.

16) Uma sala tem uma parede espelhada. Uma pessoa corre em direção à parede, perpendicularmente a ela, com velocidade  $1,2$  m/s. A velocidade com que a imagem se aproxima da pessoa tem valor:

- a)  $4,8$  m/s
- b)  $2,4$  m/s
- c)  $1,2$  m/s
- d)  $0,6$  m/s
- e) zero

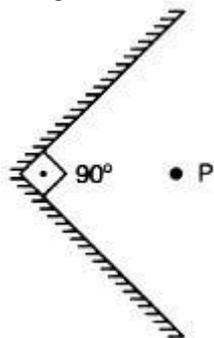
17) Dois espelhos planos fornecem 11 (onze) imagens de um objeto. Logo, podemos concluir que os espelhos formam um ângulo de:

- a)  $10^\circ$

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

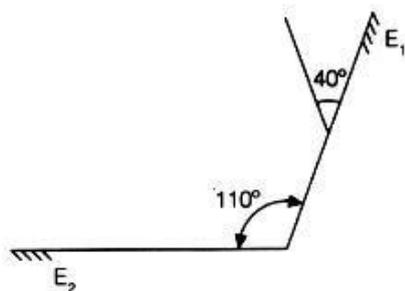
- b)  $25^\circ$   
c)  $30^\circ$   
d)  $36^\circ$   
e) um valor diferente desses.

18) Conforme a figura abaixo, os lados espelhados dos dois espelhos planos formam entre si um ângulo de  $90^\circ$ . Uma garota posiciona-se no ponto P da figura. Ela verá de si mesma:



- a) 3 imagens.  
b) 2 imagens.  
c) 1 imagem.  
d) infinitas imagens.  
e) nenhuma imagem.

19) Dois espelhos planos, E1 e E2, formam um ângulo de  $110^\circ$  entre si. Um raio de luz que incide em E1 com um ângulo de  $40^\circ$ , como mostra a figura, é refletido sucessivamente por E1 e E2. O ângulo que o raio refletido por E2 forma com o plano de E2 é igual a:



- a)  $20^\circ$   
b)  $30^\circ$   
c)  $40^\circ$   
d)  $50^\circ$   
e)  $60^\circ$

20) Um objeto vertical de 1,8 m de altura é colocado a 2 m de distância de um espelho plano vertical de 1,2 m de altura, obtendo-se uma imagem de altura H. Se o objeto afastar-se do espelho, para uma nova distância igual a 6 m do espelho, a imagem terá a altura H'. Para essa situação é correto afirmar que:

- a)  $H = H' = 1,2$  m.  
b)  $H = H' = 1,8$  m.  
c)  $H = 1,8$  m e  $H' = 0,6$  m.

- d)  $H = 1,2$  m e  $H' = 0,4$  m.  
e) não haverá formação de imagem do objeto com o espelho citado.

21) Uma bandeira brasileira, tingida com pigmentos puros e iluminada com luz monocromática amarela, é vista na(s) cor(es):

- a) totalmente amarela.  
b) verde e amarela.  
c) azul e branca.  
d) preta e branca.  
e) amarela e preta.

22) Uma folha V reflete apenas luz verde. Uma outra folha A absorve todas as cores, exceto a amarela. Iluminando ambas as folhas com luz branca e observando através de um filtro vermelho:

- a) ambas parecerão pretas.  
b) ambas parecerão vermelhas.  
c) ambas parecerão verdes.  
d) ambas parecerão brancas.  
e) a folha V parecerá amarela e a folha A parecerá verde.

23) Suponha que exista um outro universo no qual há um planeta parecido com o nosso, com a diferença de que a luz visível que o ilumina é monocromática. Um fenômeno óptico causado por esta luz, que não será observado neste planeta, seria:

- a) a refração.  
b) a reflexão.  
c) a difração.  
d) o arco-íris.  
e) a sombra.

**Gabarito**

1.A	2.E	3.C	4.C	5.E
6.C	7.A	8.B	9.D	10.D
11.C	12.E	13.C	14.E	15.B
16.B	17.C	18.A	19.B	20.B
21.E	22.A	23.D		

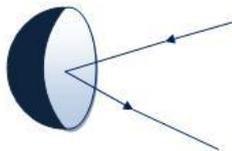
-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

**Espehos Esféricos**

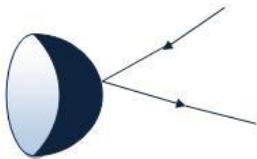
Um plano, ao cortar uma superfície esférica, divide-a em duas partes denominadas *calotas esféricas*.



*Espeho esférico* é uma calota esférica na qual uma das superfícies é refletora. Quando a superfície é a interna, o espeho é denominado *côncavo* (ex: espehos de aumento, como dos dentistas, de barbear, etc.) e, quando a superfície refletora é a externa o espeho é *convexo* (retrovisores em motocicletas, em portas de elevadores, fundo de lojas, etc.).

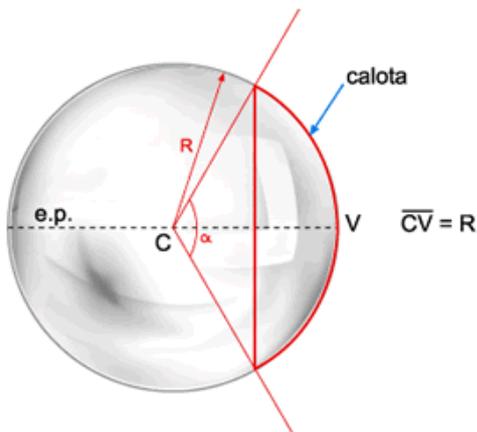


Espeho esférico côncavo



Espeho esférico convexo

Os elementos que caracterizam um espeho esférico são:



- *Centro de curvatura (C)*: o centro da superfície esférica à qual a calota pertence;
- *Raio de curvatura do espeho (R)*: o raio da superfície esférica à qual a calota pertence;

- *Vértice do espeho (V)*: o polo (ponto mais externo) da calota esférica;
- *Eixo principal do espeho*: a reta definida pelo centro de curvatura e pelo vértice;
- *Abertura do espeho (α)*: o ângulo de abertura do espeho.

**Espehos esféricos de Gauss**

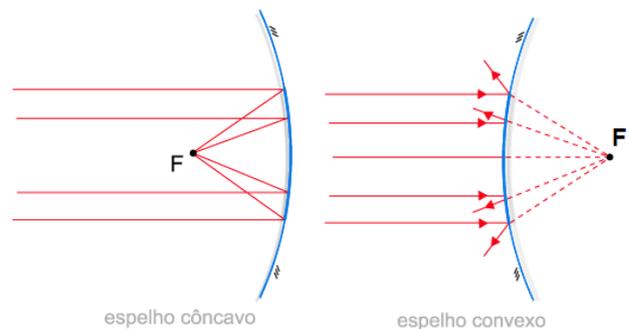
Os espehos esféricos apresentam, em geral, imagens sem nitidez. Gauss observou que, se os raios incidentes obedecessem a certas condições, as imagens seriam obtidas com maior nitidez.

- Os raios incidentes sobre o espeho devem ser paralelos ou pouco inclinados em relação ao eixo principal e próximo dele.
- A abertura útil do espeho é pequena ( $\alpha < 10^\circ$ ).

Estudaremos apenas os espehos esféricos de Gauss.

**Focos de um espeho esférico**

Quando um feixe de raios incide paralelamente ao eixo principal, ele origina um feixe refletido convergente, no caso do espeho côncavo, e divergente, no do convexo. O vértice *F* desse feixe situa-se no eixo principal e é denominado *foco principal* do espeho esférico.



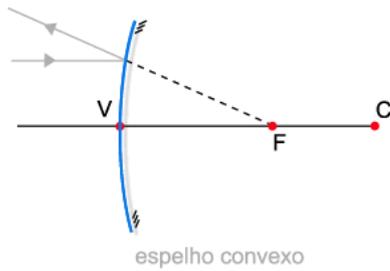
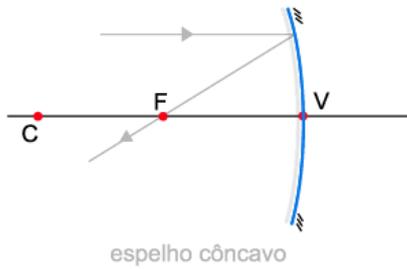
O foco principal *F* é *real* nos espehos côncavos (interseção efetiva) e *virtual* nos convexos (interseção de prolongamentos).

**Propriedades dos espehos esféricos**

Em vista dos conceitos apresentados, podemos enunciar o comportamento de alguns raios de luz ao se refletirem.

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

a) todo raio de luz que incide paralelamente ao eixo principal reflete-se numa direção que passa pelo foco principal.

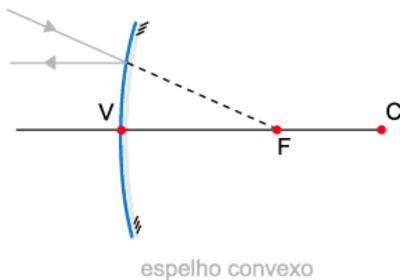
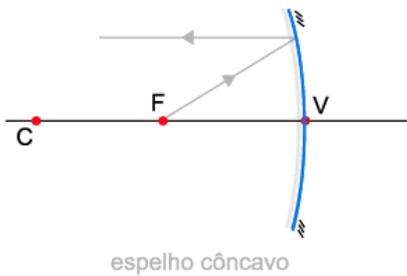


O foco principal F situa-se aproximadamente no ponto médio do segmento determinado pelo centro de curvatura C e pelo vértice V:

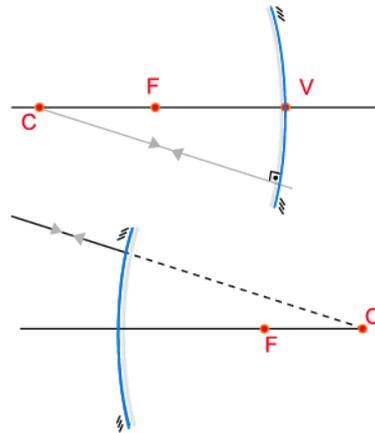
$$\overline{CF} = \overline{FV} = \frac{R}{2}$$

*Distância focal é a metade do raio de curvatura.*

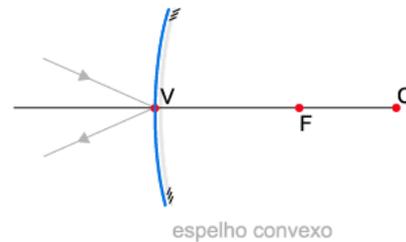
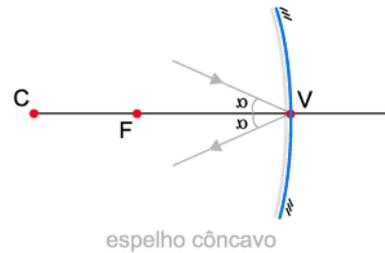
b) todo raio de luz que incide numa direção que passa pelo foco principal reflete-se paralelamente ao eixo principal.



c) todo raio de luz que incide numa direção que passa pelo centro de curvatura reflete-se sobre si mesmo.



d) todo raio de luz que incide sobre o vértice do espelho reflete-se simetricamente em relação ao eixo principal.



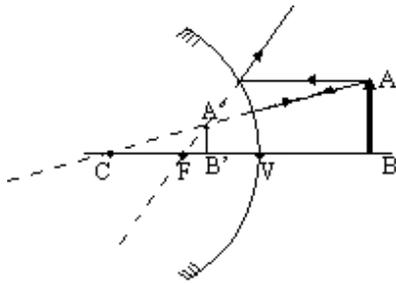
### Construção geométrica de imagens

A imagem formada por um espelho esférico é determinada pela interseção de pelo menos dois raios notáveis refletidos. Analisaremos as imagens formadas por espelhos côncavos e convexas.

#### Espelho convexo

A imagem que um espelho esférico convexo fornece de um objeto real é sempre **VIRTUAL, DIREITA E MENOR** que ele, qualquer que seja a distância do objeto ao espelho.

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

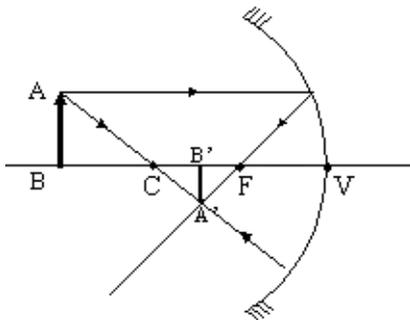


Espelho côncavo

A imagem que um espelho esférico côncavo fornece de um objeto real tem características diversas, conforme a posição deste relativamente ao centro de curvatura e ao foco.

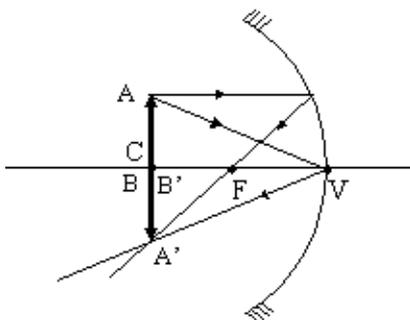
1ª) Objeto além do centro de curvatura

A imagem é **REAL, INVERTIDA E MENOR.**



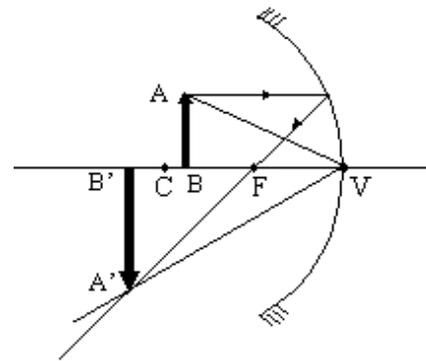
2ª) Objeto sobre o centro de curvatura

A imagem é **REAL, INVERTIDA E IGUAL.**



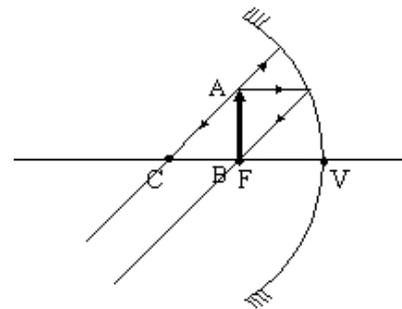
3ª) Objeto entre o centro de curvatura e o foco

A imagem é **REAL, INVERTIDA E MAIOR.**



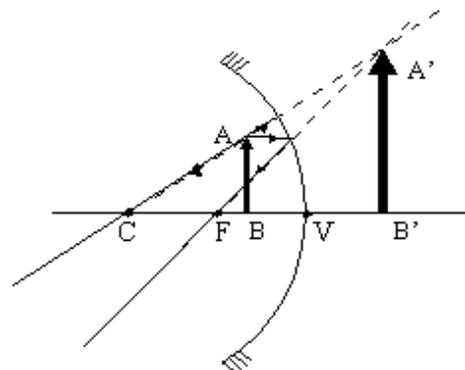
4ª) Objeto no plano focal

A imagem é **IMPRÓPRIA** (no infinito).



5ª) Objeto entre o foco e o vértice

A imagem é **VIRTUAL, DIREITA E MAIOR.**



De todas as construções feitas podemos concluir:

- A imagem real de um objeto real é invertida;
- A imagem virtual de um objeto real é direita;
- Quando o objeto se desloca, a imagem também se desloca, mas em sentido oposto;

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

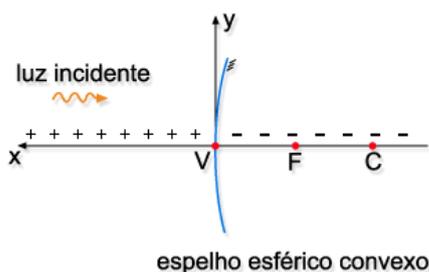
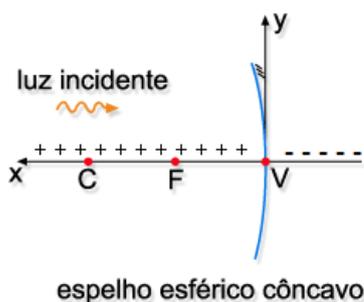
- O elemento, objeto ou imagem que estiver mais próximo do espelho será menor.

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

**Estudo analítico**

Dadas a posição e a altura de um objeto real relativamente a um espelho esférico, a posição e a altura da imagem podem ser determinadas analiticamente. Para isso adota-se o seguinte sistema de coordenadas:

- *Origem*: vértice do espelho;
- *Eixo das abscissas*: direção do eixo principal e sentido contrário ao da luz incidente;
- *Eixo das ordenadas*: direção da perpendicular ao eixo principal e sentido ascendente.



Equação de Gauss

É a equação que relaciona a abscissa do objeto ( $p$ ), a abscissa da imagem ( $p'$ ) e a distância focal do espelho ( $f$ ):

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Sendo  $R$  o raio de curvatura do espelho e lembrando que  $R = 2f$ , a equação anterior pode ser escrita de outra maneira:

Aumento linear

Adotando  $i$  como a altura da imagem e  $o$  como a altura do objeto, o aumento linear ( $A$ ) da imagem é definido por:

$$A = \frac{i}{o}$$

O aumento linear relaciona-se com as abscissas  $p$  e  $p'$ , do objeto e da imagem, respectivamente, segundo a fórmula:

$$\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$

Observe que:

- Se  $A > 0$ , objeto e imagem tem naturezas diferentes;
- Se  $A < 0$ , objeto e imagem tem naturezas iguais;

Somente imagens reais podem ser projetadas. Não vamos considerar os casos em que o objeto é virtual, uma vez que sua ocorrência só se dá quando são associados sistemas ópticos.

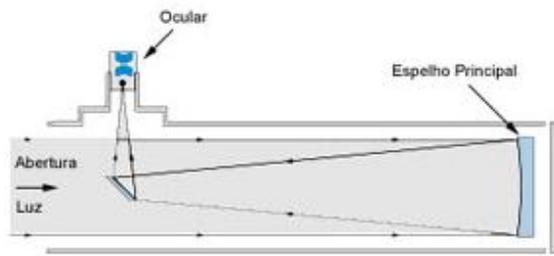
Telescópio Refletor

Ao contrário do modelo refrator, os refletores usam um espelho ao invés de lente como elemento principal. O modelo mais comum é o popularmente conhecido "Newtoniano" que utiliza um espelho côncavo montado no fundo do tubo do telescópio. Outro espelho, chamado "secundário" direciona a luz captada pelo espelho principal em direção à ocular. Esses modelos permitem grandes aberturas e quando bem construídos produzem excelentes imagens.

Fonte: <http://www.apolo11.com> (Acessado em 18/01/12)

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

**Refletor Newtoniano**



-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

**Exercícios: Espelhos esféricos**

24) A respeito das propriedades fundamentais dos espelhos esféricos, quais das afirmações abaixo são corretas?

I) Todo raio de luz que incide passando pelo centro de curvatura do espelho volta sobre si mesmo.

II) Todo raio de luz incidente paralelo ao eixo principal do espelho origina um raio refletido que passa pelo centro do espelho.

III) Todo raio de luz que incide no vértice V do espelho gera um raio refletido que é simétrico do incidente relativamente ao eixo principal.

- a) Todas. d) I e III.  
b) Nenhuma. e) II e III.  
c) I e II.

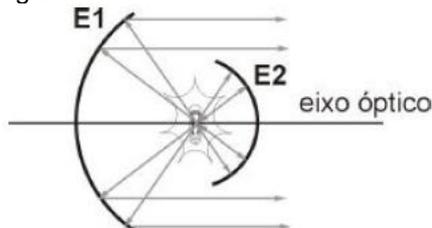
25) Um espelho esférico côncavo, de distância focal igual a 2 cm, é usado para se obter imagens virtuais e ampliadas de um objeto. Em relação a tais imagens e ao objeto que lhe deu origem, é incorreto afirmar que:

- a) a imagem é invertida lateralmente (inversão direita-esquerda).  
b) a imagem é formada pelo prolongamento dos raios refletidos.  
c) a imagem é direta (cabeça para cima em relação ao objeto).  
d) o objeto a ser visto pode ser maior do que o espelho.  
e) o objeto pode ser colocado à distância de até 4 cm do espelho.

26) Quando você se olha em um espelho côncavo e vê seu rosto aumentado e direito, o rosto se encontra:

- a) no foco do espelho.  
b) no centro de curvatura do espelho.  
c) entre o foco e o espelho.  
d) entre o foco e o centro de curvatura.  
e) mais afastado que o centro de curvatura, em relação ao espelho.

27) Um farol de automóvel consiste em um filamento luminoso colocado entre dois espelhos esféricos côncavos de mesmo eixo, voltados um para o outro e de tamanhos diferentes, de modo que todos os raios oriundos do filamento se refletem no espelho maior e se projetam paralelos, conforme a figura.



A posição correta do filamento é:

- a) no centro de curvatura do espelho menor e no

foco do espelho maior.

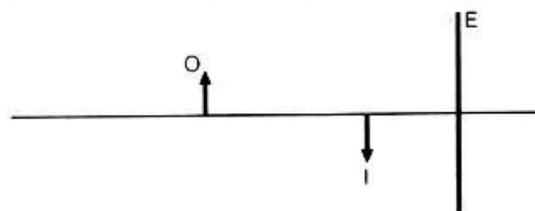
b) no vértice do espelho menor e no centro de curvatura do espelho maior.

c) no foco de ambos os espelhos.

d) no centro de curvatura de ambos os espelhos.

e) no foco do espelho menor e no centro de curvatura do espelho maior.

28) F é um espelho esférico e conjuga, de um objeto real, uma imagem real. Segundo o esquema abaixo, pode-se afirmar que o espelho é:



a) côncavo, e o objeto está entre o foco e o centro de curvatura.

b) côncavo, e está entre o objeto e a imagem.

c) convexo, e se encontra com a imagem em seu foco.

d) côncavo, e o objeto está antes do centro de curvatura.

e) côncavo, e o objeto está além do centro de curvatura.

29) A imagem de um objeto real produzida por um espelho esférico convexo é sempre:

a) virtual e menor que o objeto.

b) virtual e maior que o objeto.

c) real e menor que o objeto.

d) real e maior que o objeto.

e) real e igual ao objeto.

30) Seja E um espelho côncavo cujo raio de curvatura é 60,0 cm. Qual tipo de imagem obteremos se colocarmos um objeto real de 7,50 cm de altura, verticalmente, a 20,0 cm do vértice de E?

a) Virtual e reduzida a 1 do tamanho do objeto.

b) Real e colocada a 60,0 cm da frente do espelho.

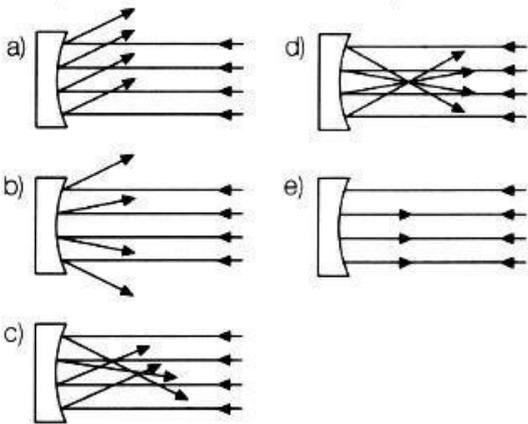
c) Virtual e três vezes mais alta que o objeto.

d) Real, invertida e de tamanho igual ao do objeto.

e) n. d. a.

31) "Isaac Newton foi o criador do telescópio refletor. O mais caro desses instrumentos até hoje fabricado pelo homem, o telescópio espacial Hubble (1,6 bilhão de dólares), colocado em órbita terrestre em 1990, apresentou em seu espelho côncavo, dentre outros, um defeito de fabricação que impede a obtenção de imagens bem definidas das estrelas distantes" (O Estado de S. Paulo, 1/8/91, p. 14). Qual das figuras melhor representaria o funcionamento perfeito do espelho do telescópio?

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA



- a) 60 cm
- b) 40 cm
- c) 25 cm
- d) 20 cm
- e) 10 cm

32) Uma menina observa a imagem de seu rosto em um espelho esférico convexo. À medida que ela aproxima o rosto do espelho, a imagem que ela vê:

- a) aumenta de tamanho mantendo-se sempre direita.
- b) aumenta de tamanho mas se inverte a partir de determinada distância do espelho.
- c) diminui de tamanho mantendo-se sempre direita.
- d) diminui de tamanho mantendo-se sempre invertida.
- e) aumenta de tamanho até certa distância do espelho a partir da qual passa a diminuir.

33) Um objeto é colocado a 40 cm do vértice de um espelho esférico côncavo, de raio de curvatura igual a 30 cm. Neste caso, a distância da imagem em relação ao espelho será, em cm, igual a:

- a) 12
- b) 16
- c) 20
- d) 24
- e) 30

34) Um espelho esférico côncavo tem raio de curvatura igual a 80 cm, Um objeto retilíneo de 2,0 cm de altura é colocado perpendicularmente ao eixo principal do espelho, a 120 cm dele. Neste caso, teremos:

- a) uma imagem real e invertida de 1,0 cm de altura e a 60 cm do espelho.
- b) uma imagem virtual e direita de 1,0 cm de altura e a 10 cm do espelho.
- c) uma imagem virtual e invertida de 1,0 cm de altura e a 10 cm do espelho.
- d) uma imagem real e direita de 40 cm de altura e a 60 cm do espelho.
- e) n. d. a.

35) Um objeto real se encontra diante de um espelho esférico côncavo, a 10 cm de seu vértice, sobre o eixo principal. O raio de curvatura desse espelho é 40 cm. Se o objeto se deslocar até o centro de curvatura do espelho, a distância entre a imagem inicial e a final será:

36) Um objeto de 15 cm de altura é colocado perpendicularmente ao eixo principal de um espelho côncavo de 50 cm de distância focal. Sabendo-se que a imagem formada mede 7,5 cm de altura, podemos afirmar que:

- a) o raio de curvatura do espelho mede 75 cm.
- b) o objeto está entre o foco e o vértice do espelho.
- c) o objeto está a 75 cm do vértice do espelho.
- d) o objeto está a 150 cm do vértice do espelho.
- e) n. d. a.

37) Uma pessoa, a 40 cm de um espelho côncavo, se vê 3 vezes maior e com imagem direita. A distância focal é:

- a) 120 cm
- b) - 60 cm
- c) 30 cm
- d) 60 cm
- e) 13,3 cm

38) Um objeto que se encontra diante de um espelho esférico tem uma imagem 4 vezes mais alta que o próprio. Sabendo que o raio de curvatura do espelho é 1,0 m, podemos afirmar que:

- a) o espelho é côncavo e o objeto está a 62,5 cm do vértice.
- b) o espelho é côncavo e o objeto está a 37,5 cm do vértice.
- c) o espelho é convexo e o objeto está a 37,5 cm do vértice,
- d) o espelho é convexo e o objeto está a 62,5 cm do vértice.
- e) tanto pode ocorrer o citado no item a como no item b.

39) A distância entre um objeto e uma tela é de 80 cm. O objeto é iluminado e, por meio de uma lente delgada posicionada adequadamente entre o objeto e a tela, uma imagem do objeto, nítida e ampliada 3 vezes, é obtida sobre a tela. Para que isso seja possível, a lente deve ser:

- a) convergente, com distância focal de 15 cm, colocada a 20 cm do objeto.
- b) convergente, com distância focal de 20 cm, colocada a 20 cm do objeto.
- c) convergente, com distância focal de 15 cm, colocada a 60 cm do objeto.
- d) divergente, com distância focal de 15 cm, colocada a 60 cm do objeto.
- e) divergente, com distância focal de 20 cm, colocada a 20 cm do objeto.

40) A distância entre um objeto e a imagem que um

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

espelho esférico lhe conjuga mede 15 cm. Sendo ambos reais, com o objeto apresentando altura o dobro da imagem, determine a natureza do espelho e a sua distância focal.

- a) Espelho convexo e distância focal de 10,0 cm.
- b) Espelho côncavo e distância focal de 3,3 cm.
- c) Espelho convexo e distância focal de 3,3 cm.
- d) Espelho côncavo e distância focal de 10,0 cm.
- e) Espelho côncavo e distância focal de 1,5 cm.

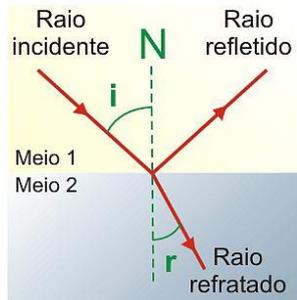
**Gabarito**

- |   |       |
|---|-------|
| 41) A distância entre uma lâmpada e a sua imagem projetada em um anteparo por um espelho esférico é 30 cm. A imagem é quatro vezes maior que o objeto. Podemos afirmar que:   | 24. D |
| a) o espelho é convexo.   | 25. E |
| b) a distância da lâmpada ao espelho é de 40 cm   | 26. C |
| c) a distância do espelho ao anteparo é de 10 cm.   | 27. A |
| d) a distância focal do espelho é de 7 cm.  | 28. E |
| e) o raio de curvatura do espelho é de 16 cm.   | 29. A |
|   | 30. C |
|   | 31. D |
|   | 32. A |
|   | 33. D |
| 42) A imagem de um objeto que está a 40 cm de um espelho esférico côncavo tem a mesma altura do objeto. Colocando o objeto a grande distância do espelho, a sua imagem estará a:  | 34. A |
| a) 20 cm do espelho.  | 35. A |
| b) 30 cm do espelho.  | 36. D |
| c) 40 cm do espelho.  | 37. D |
| d) 50 cm do espelho.  | 38. E |
| e) 60 cm do espelho.  | 39. A |
|   | 40. D |
|   | 41. E |
|   | 42. A |
|   | 43. B |
|   | 44. D |
| 43) Um motorista de táxi utiliza dois espelhos: um, interno, plano; o outro, lateral, convexo, com 2,0 m de distância focal. Pelo espelho plano, ele vê um motociclista que o segue à distância de 6,0 m do espelho. Pelo espelho convexo, o motorista do táxi vê a imagem do motociclista a uma distância desse espelho igual a: |       |
| a) 1,2 m  |       |
| b) 1,5 m  |       |
| c) 3,0 m  |       |
| d) 4,0 m  |       |
| e) 6,0 m  |       |
| 44) Utilizando um espelho esférico, deseja-se obter uma imagem $i$ de um determinado objeto $o$ . Sabendo que a imagem deve ser direita e reduzida a $1/5$ da altura do objeto, e que deve ficar localizada a 12 cm do espelho, pode-se afirmar que o espelho utilizado deve ser:   |       |
| a) côncavo, com raio de curvatura igual a 60 cm.  |       |
| b) côncavo, com raio de curvatura igual a 10 cm.  |       |
| c) convexo, com raio de curvatura igual a 10 cm   |       |
| d) convexo, com raio de curvatura igual a 30 cm   |       |
| e) convexo, com raio de curvatura igual a 60 cm.  |       |

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

**Refração da luz**

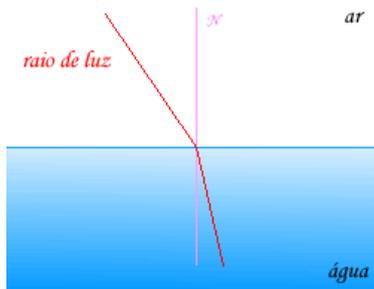
A luz, propagando-se num meio (1) e incidindo sobre a superfície de separação com um meio (2), apresenta simultaneamente os fenômenos de reflexão, refração e absorção.



A refração da luz é a variação de velocidade sofrida pela luz ao mudar de meio.



Para que a refração seja o fenômeno predominante, o meio (2) deve ser transparente, como, por exemplo, a água.



**Índice de refração - Refringência**

Índice de refração absoluto ( $n$ ) de um meio, para determinada luz monocromática, é a relação entre a velocidade da luz no vácuo  $c$  e a velocidade  $v$  da luz no meio em questão:

$$n = \frac{c}{v}$$

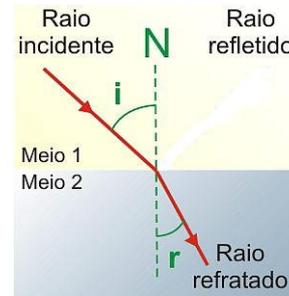
Assim,  $n$  indica quantas vezes a velocidade da luz no vácuo é maior que a velocidade no meio considerado. (Para o vácuo e o ar  $n=1$ ).

O índice de refração de um meio material depende do tipo de luz, apresentando *valor máximo para a luz violeta e mínimo para a luz vermelha*.

O meio que possui *maior índice de refração* é o que apresenta *maior refringência* (mais refringente).

**Leis da refração**

Considere uma luz monocromática se propagando de um meio (1) para outro mais refringente (2).



A refração luminosa é regida por duas leis:

1. O raio incidente  $I$ , o raio refratado  $R$  e a normal  $N$  à superfície de separação pertencem ao mesmo plano.
2. Para cada par de meios e para cada luz monocromática que se refrata é constante o produto do seno do ângulo que o raio forma com a normal e o índice de refração do meio em que o raio se encontra.

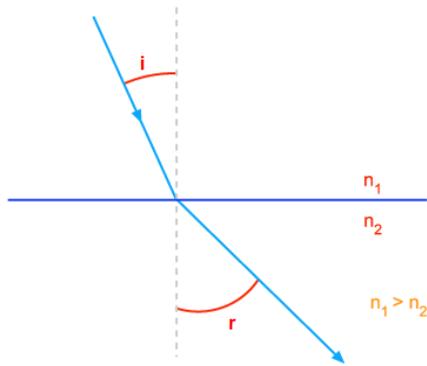
$$n_1 \text{ sen } i = n_2 \text{ sen } r$$

(Lei de Snell-Descartes)

Observe que:

- Quando a luz passa de um meio menos refringente para outro mais refringente ( $n_2 > n_1$ ), o raio refratado se aproxima da normal ( $r < i$ ).
- Se a luz passa de um meio mais refringente para outro menos refringente ( $n_1 > n_2$ ), o raio refratado se afasta da normal ( $r > i$ ).

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA



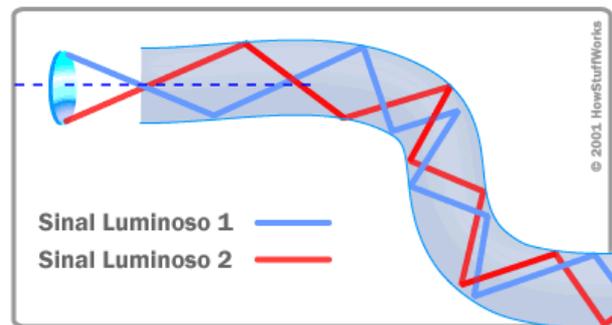
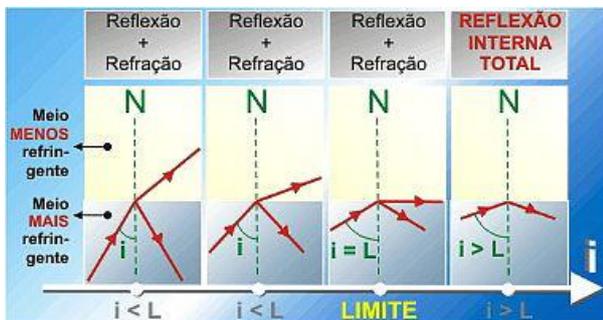
$$\boxed{\text{sen}L = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}}$$

Como uma fibra óptica transmite luz?

Imagine que você queira enviar o fecho de luz de uma lanterna através de um longo corredor reto. Basta apontá-lo diretamente na direção do corredor: a luz viaja em linha reta, então isso não é um problema. Mas e se o corredor virar à esquerda ou à direita? Você poderia colocar um espelho na curva para refletir o fecho de luz e dobrar a esquina. Mas e se o corredor for muito sinuoso, com múltiplas mudanças de direção? Poderia revestir as paredes com espelhos e ajustar o ângulo do fecho de modo que ele refletisse de um lado para outro ao longo do corredor. Isso é exatamente o que acontece em uma fibra óptica.

**Reflexão total**

Imagine um raio de luz que se propaga de um meio mais refringente para outro menos refringente. Se aumentarmos o ângulo de incidência  $i$ , a última refração ( $r = 90^\circ$ ) vai ocorrer quando o ângulo  $i$  for igual ao ângulo limite  $L$ .



No entanto, para esse sentido de propagação, o ângulo de incidência  $i$  pode ser maior que o ângulo limite  $L$ . Quando isso ocorre, não há refração e a luz sofre o fenômeno da *reflexão total* ou *interna*. Assim, para haver reflexão total, há duas condições:

- Sentido de propagação da luz: do meio mais refringente para o menos refringente.
- Ângulo de incidência maior que ângulo limite:  $i > L$

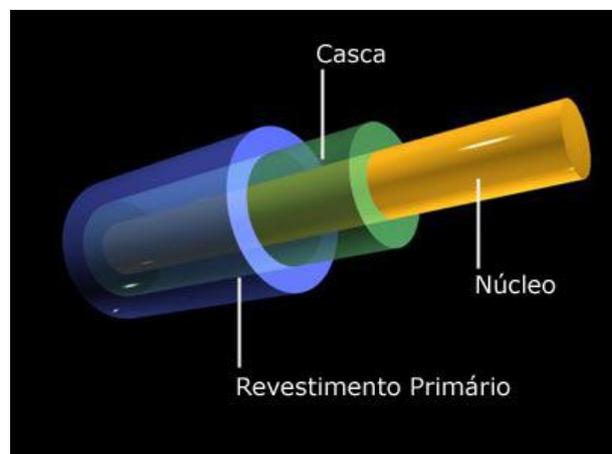
Cálculo do ângulo limite

Aplicando a Lei de Snell-Descartes à situação limite, onde  $i = L$  e  $r = 90^\circ$ , obtêm-se:

$$n_1 \text{sen}L = n_2 \text{sen}90^\circ$$

$$\text{sen}L = \frac{n_2}{n_1}$$

Sendo  $n_2 < n_1$ , podemos escrever:



Em um cabo de fibra óptica, a luz viaja através do núcleo (o corredor) refletindo constantemente na interface (as paredes revestidas de espelhos), o que representa um princípio chamado de **reflexão interna total**. Como a interface não absorve nenhuma luz do núcleo, a onda de luz pode viajar grandes distâncias. Entretanto, uma parte do sinal luminoso se **degrada** dentro da fibra, principalmente em razão de impurezas contidas no vidro. O grau dessa degradação do sinal depende da pureza do vidro e do comprimento de onda da luz transmitida (por exemplo, 850 nm = 60 a 75%/km; 1.300 nm = 50 a 60%/km; para 1.550 nm, ela é maior do que 50%/km).

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

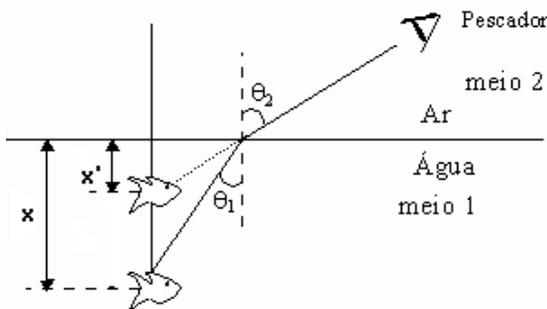
Algumas fibras ópticas de qualidade excepcional apresentam uma degradação de sinal muito menor: menos de 10%/km em 1.550 nm.

Fonte: [http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2007-05-20\\_2007-05-26.html](http://fisicamoderna.blog.uol.com.br/arch2007-05-20_2007-05-26.html) (Acessado em: 18/01/2012)

**Dioptra Plano**

Dioptra plano é o conjunto de dois meios homogêneos e transparentes, separados por uma superfície plana (ex: a água tranquila de um lago e o ar).

Quando se observa um peixe dentro d'água, nota-se que há uma diferença entre a posição real e a imagem deste peixe. O mesmo ocorre quando se observa dentro d'água um pássaro que voa acima da superfície de um lago.

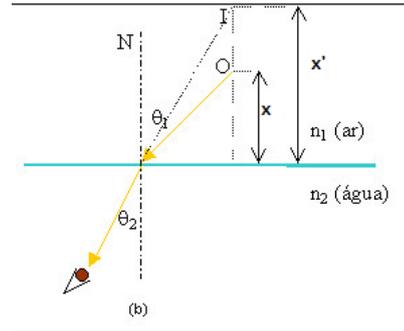
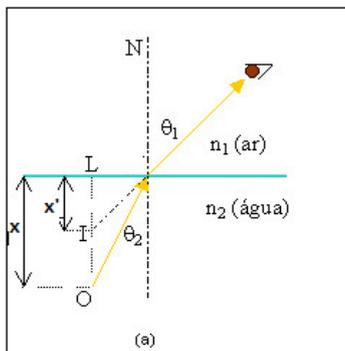


Quando os raios que determinam a formação da imagem formam pequenos ângulos com a normal à superfície (cerca de 10°), verifica-se que:

$$\frac{x}{x'} = \frac{n}{n'}$$

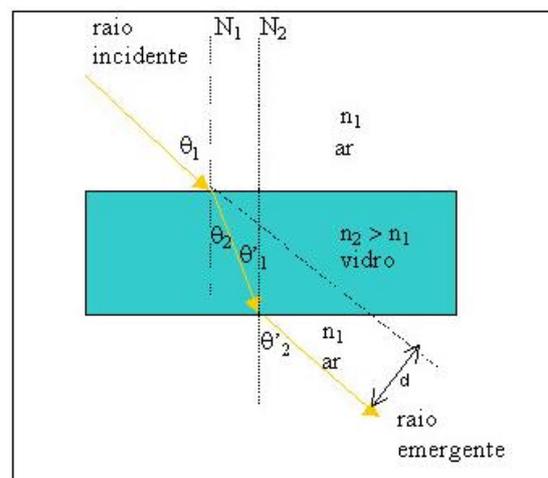
Onde:

- x: distância do objeto à superfície;
- x': distância da imagem à superfície;
- n: índice de refração do meio de incidência;
- n': índice de refração do meio de emergência;



**Lâmina de faces paralelas**

É o conjunto de três meios homogêneos e transparentes separados por duas superfícies planas e paralelas. O vidro de uma vidraça é um exemplo desse sistema.

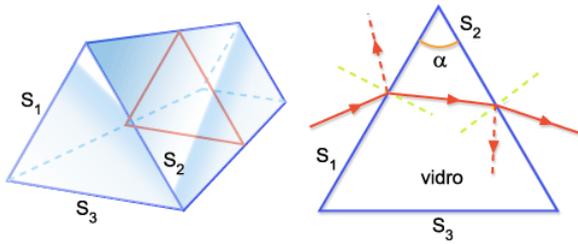


Um raio de luz monocromática, incidindo sobre a primeira face, atravessa a lâmina, após duas refrações e emerge na segunda face, numa direção paralela à direção de incidência. Portanto, sendo os meios extremos idênticos, um raio luminoso não sofre desvio angular, ocorrendo apenas um desvio lateral d.

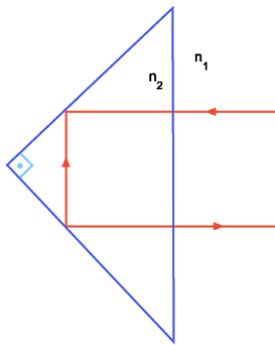
**Prisma**

Prisma é o conjunto de três meios homogêneos e transparentes separados por duas superfícies planas não-paralelas, que são as faces do prisma. As faces se interceptam numa reta chamada *aresta* do prisma. O ângulo entre as faces do prisma é o ângulo de refração.

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

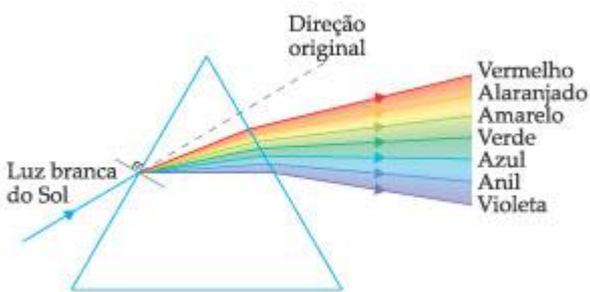


Há prismas nos quais determinados raios incidentes sofrem sempre reflexão total no seu interior. De larga utilização em Óptica Aplicada, são denominados *prismas de reflexão total*.



### Dispersão luminosa

Admitamos que uma luz policromática como a luz branca solar esteja se propagando no ar e incida sobre a superfície de um prisma. Lembrando que um mesmo material tem índice de refração máximo para a luz violeta e mínimo para a luz vermelha, a componente que mais se desvia (aproxima da normal) é o violeta e a que mais se afasta é o vermelho.



### Arco-Íris

O arco-íris é um fenômeno óptico que se forma em razão da separação das cores que formam a luz solar. Ele pode ser observado sempre que existem gotículas de água suspensas na atmosfera e a luz solar estiver brilhando acima do observador em baixa altitude ou ângulo, ou seja, ele pode

acontecer durante ou após uma chuva. Esse acontecimento ocorre em razão da dispersão da luz.

Dispersão é o fenômeno que causa a separação de uma onda em vários componentes espectrais.

A luz do sol é uma onda de luz branca formada por várias cores, quando essa luz incide sobre uma gota de água os raios luminosos penetram nela e são refratados, sofrendo assim a dispersão. O feixe de luz colorido, dentro da gota, é refletido sobre a superfície interna da mesma e sofre novo processo de refração, motivo que provoca a separação das cores que um observador consegue ver. É evidente que essa dispersão ocorre com todas as gotas de água que estiverem na superfície recebendo a luz proveniente do Sol.

O arco-íris não existe, trata-se de uma ilusão de óptica cuja visualização depende da posição relativa do observador. É importante salientar que todas as gotas de água refratam e refletem a luz da mesma forma, no entanto, apenas algumas cores resultantes desse processo é que são captadas pelos olhos do observador.

<http://www.brasilecola.com/fisica/formacao-um-arco-iris.htm>  
(Acessado em 18/01/12)



-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

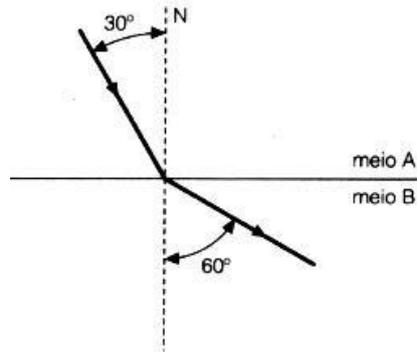
**Exercícios: Refração luminosa**

- 45) O índice de refração absoluto de um material:
- a) relaciona-se à velocidade de propagação da radiação monocromática no material e à velocidade da luz no vácuo.
  - b) não depende da estrutura atômica do material, mas depende da velocidade da radiação monocromática no vácuo,
  - c) independe da frequência da radiação incidente no material e assume valores sempre positivos.
  - d) depende do comprimento de onda da radiação incidente no material e assume valores sempre menores que a unidade.
  - e) assume o mesmo valor para qualquer radiação do espectro eletromagnético.
- 46) A velocidade da luz no vidro é  $\frac{2}{3}$  da velocidade da luz no vácuo. O índice de refração absoluto do vidro vale:
- a)  $\frac{5}{2}$
  - b)  $\frac{5}{3}$
  - c)  $\frac{3}{2}$
  - d)  $\frac{4}{3}$
  - e)  $\frac{2}{3}$

- 47) Um raio de luz passa do vácuo, onde sua velocidade é  $3 \cdot 10^8$  m/s, para um líquido, onde a velocidade passa a ser  $2,4 \cdot 10^8$  m/s. O índice de refração do líquido é:
- a) 0,6
  - b) 1,25
  - c) 1,5
  - d) 1,8
  - e) 7,2

- 48) O índice de refração da água em relação ao vidro é  $\frac{8}{9}$ . Sabendo que o índice de refração absoluto da água é  $\frac{4}{3}$  e que a velocidade da luz no vácuo é  $3 \cdot 10^8$  m/s, podemos afirmar que a velocidade da luz no vidro é:
- a)  $2,5 \cdot 10^8$  m/s
  - b)  $2,0 \cdot 10^8$  m/s
  - c)  $1,5 \cdot 10^8$  m/s
  - d)  $1,0 \cdot 10^8$  m/s
  - e)  $0,8 \cdot 10^8$  m/s

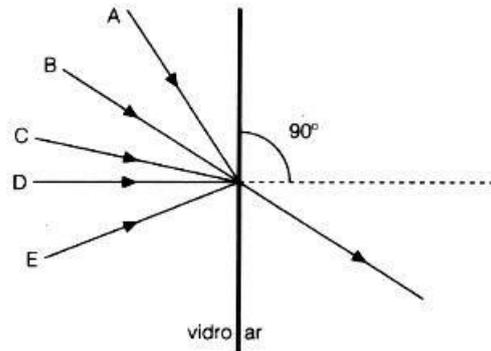
49) Observe a seguinte figura



Podemos afirmar que:

- a) o índice de refração do meio B é metade do índice de refração do meio A.
- b) o meio A é menos refringente que o meio B.
- c) a velocidade de propagação da luz é a mesma nos dois meios.
- d) a velocidade de propagação da luz no meio A é o dobro que a velocidade da luz no meio B.
- e) o índice de refração do meio A é maior do que o do meio B.

50) Um pincel de luz emerge de um bloco de vidro comum para o ar, na direção e sentido indicados na figura. Assinale a alternativa que melhor representa o percurso da luz no interior do vidro.



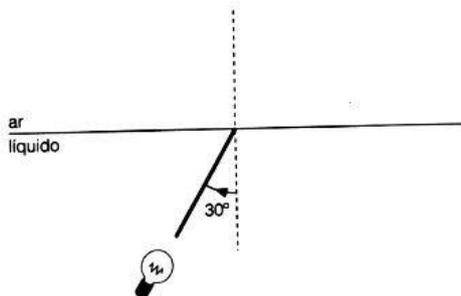
- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

51) O índice de refração de um certo meio é  $\sqrt{2}$  para a luz vermelha e  $\sqrt{3}$  para a violeta. Dois raios luminosos monocromáticos, um vermelho e outro violeta, após se propagarem no meio considerado, passam para o ar. O ângulo de incidência de ambos é de  $30^\circ$ . O ângulo formado pelos dois raios refratados entre si vale:

- a)  $0^\circ$
- b)  $15^\circ$
- c)  $30^\circ$
- d)  $45^\circ$

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

52) A figura mostra um raio luminoso proveniente de uma lâmpada colocada dentro de um líquido, cujo índice de refração em relação ao ar é aproximadamente  $\sqrt{2}$ . O valor do ângulo de refração é:

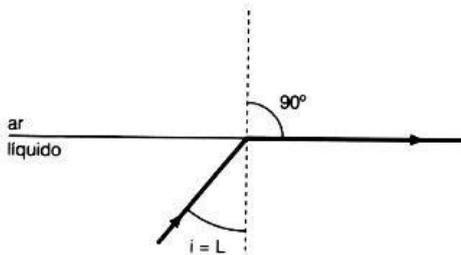


- a)  $21,2^\circ$
- b)  $30^\circ$
- c)  $42,4^\circ$
- d)  $45^\circ$
- e)  $\text{arc sen } 1/2\sqrt{2}$

53) Um raio de luz que se propaga num meio A, atinge a superfície que separa esse meio de outro B e sofre reflexão total. Podemos afirmar que:

- a) A é mais refringente que B e o ângulo de incidência é menor que o ângulo limite.
- b) A é mais refringente que B e o ângulo de incidência é maior que o ângulo limite.
- c) A é menos refringente que B e o ângulo de incidência é maior que o ângulo limite.
- d) A é menos refringente que B e o ângulo de incidência é menor que o ângulo limite.
- e) A é menos refringente que B e o ângulo de incidência é igual ao ângulo limite.

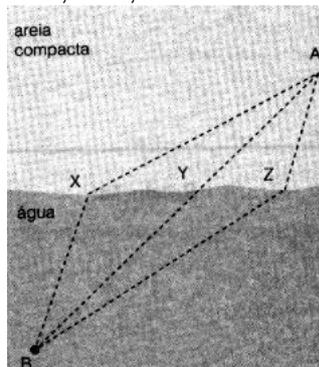
54) Um raio luminoso monocromático propaga-se num líquido transparente de índice de refração absoluto  $n$ . O ângulo limite neste meio vale  $30^\circ$ . Pode-se então dizer que o valor do índice de refração  $n$  vale:



- a)  $\frac{1}{2}$
- b) 1
- c)  $\sqrt{2}$
- d) 2
- e)  $\sqrt{3}$

55) O diagrama abaixo está num manual de óptica e refere-se à situação de uma pessoa saindo do ponto A situado sobre a areia de uma praia, querendo chegar o mais rápido possível ao ponto B situado

sobre as águas do mar, um pouco adiante a areia. A pessoa pode optar por seguir uma das trajetórias: AXB, AYB, AZB.



Sobre essa situação afirmou-se:

- I - Esta situação é uma analogia com o que ocorre no fenômeno da refração da luz.
- II - A melhor opção é a da trajetória AXB.
- III - O diagrama procura ilustrar a trajetória da luz ao atravessar um prisma de faces paralelas.

Dessas afirmações:

- a) somente I e II estão corretas.
- b) somente I e III estão corretas.
- c) somente II e III estão corretas.
- d) todas estão corretas.
- e) todas estão erradas.

56) A profundidade aparente de um tanque de 8,0 m, que contém água, de índice de refração  $3/4$ , é:

- a) 6,0 m
- b) 5,0 m
- c) 4,0 m
- d) 3,0 m
- e) 2,0 m

57) Uma criança que olha por cima de um aquário é vista por um peixe. O peixe verá a cabeça da criança:

- a) acima do local onde ela realmente se encontra.
- b) abaixo do local onde ela realmente se encontra.
- c) no local exato onde ela realmente se encontra.
- d) caso não haja interferência luminosa.
- e) maior que a verdadeira devido à combinação da refração com a reflexão.

58) Um raio luminoso propaga-se no vácuo, atravessando, então, uma lâmina de faces paralelas. O desvio lateral sofrido dependerá, exclusivamente:

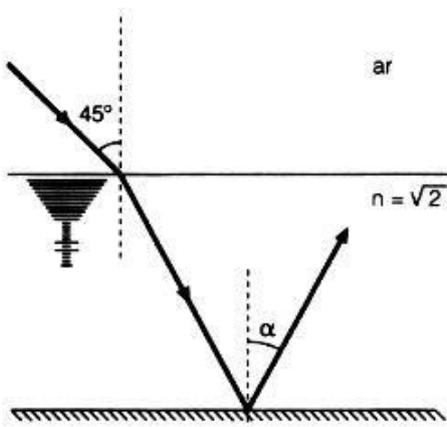
- a) da espessura da lâmina.
- b) do índice de refração da lâmina,
- c) do índice de refração da lâmina e de sua espessura.
- d) da espessura da lâmina, do seu índice de refração e do ângulo de incidência do raio.

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

59) Um raio luminoso incide sob um ângulo de  $45^\circ$  numa lâmina de faces planas e paralelas, imersa no ar, de 4 cm de espessura e índice de refração igual a 1,5. Ao sair da lâmina, o raio luminoso faz com a normal um ângulo de:

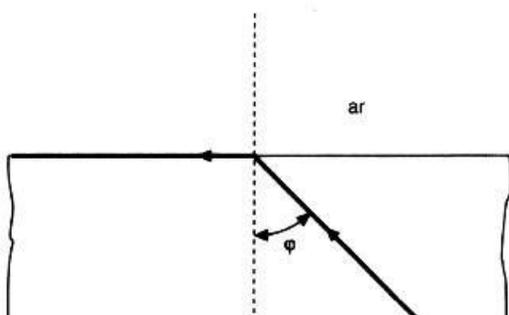
- a)  $30^\circ$
- b)  $45^\circ$
- c)  $60^\circ$
- d)  $75^\circ$
- e) n.d.a.

60) Um raio luminoso proveniente do ar incide sobre uma lâmina cujo índice de refração é  $\sqrt{2}$ , conforme a figura. Posteriormente, o raio é refletido numa das faces da lâmina. O ângulo alfa vale:



- a)  $45^\circ$
- b)  $60^\circ$
- c)  $30^\circ$
- d)  $22,5^\circ$
- e)  $75^\circ$

61) Este problema serve para ilustrar o fenômeno da reflexão total. Considere o material transparente abaixo no qual se propaga um feixe de luz que incide na superfície de separação do material com o ar. Calcule, a partir da figura, qual o índice de refração do material.



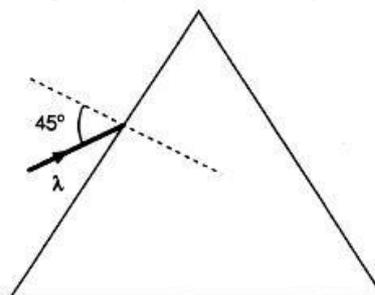
- a) 1,37
- b) 0,606
- c) 0,795
- d) 1,58
- e) 1,65

62) Um raio luminoso proveniente do ar atinge uma

lâmina de vidro de faces paralelas com 8,0 cm de espessura e 1,5 de índice de refração. Sendo a velocidade da luz no vácuo  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s, determine o tempo para o raio refratado atravessar a lâmina, sabendo que o seno do ângulo de incidência é 0,9.

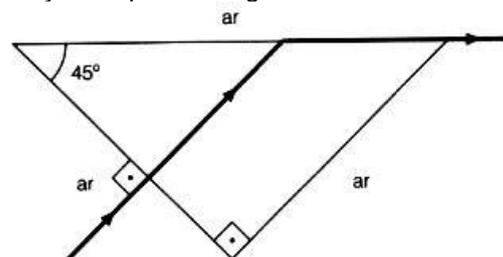
- a)  $5 \cdot 10^{-10}$  s
- b)  $4 \cdot 10^{-10}$  s
- c)  $2,4 \cdot 10^{-10}$  s
- d)  $2,6 \cdot 10^{-10}$  s
- e)  $3 \cdot 10^{-10}$  s

63) Um prisma de vidro tem os três lados iguais e índice de refração  $n = \sqrt{2}$  em relação ao do ar, para um determinado comprimento de onda. Um raio luminoso com esse mesmo comprimento de onda incide no prisma formando um ângulo de  $45^\circ$  com a normal. Calcule o ângulo de desvio do raio que emerge do prisma, em relação ao raio incidente.



- a)  $60^\circ$
- b)  $45^\circ$
- c)  $0^\circ$
- d)  $30^\circ$
- e)  $15^\circ$

64) Um raio de luz incide perpendicularmente numa das faces do prisma indicado na figura. O índice de refração do prisma é igual a:



- a)  $\sqrt{2}$
- b)  $\sqrt{2}/2$
- c)  $\sqrt{3}$
- d)  $\frac{1}{2}$
- e)  $\sqrt{3}/2$

65) Um raio de luz incide sobre um prisma triangular e equilátero, com ângulo de incidência igual ao ângulo de refração. O índice de refração do prisma é  $\sqrt{3}$ . Determine o ângulo de incidência e o ângulo de refração na primeira face do prisma, respectivamente.

- a)  $30^\circ$  e  $60^\circ$

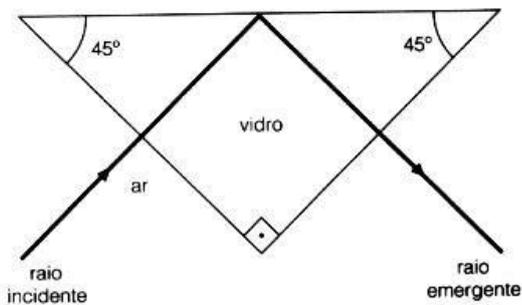
-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

- b) 45° e 45°
- c) 30° e 45°
- d) 60° e 30°
- e) 45° e 30°

66) No prisma da questão anterior, qual será o ângulo de desvio da luz ao atravessar o prisma todo?

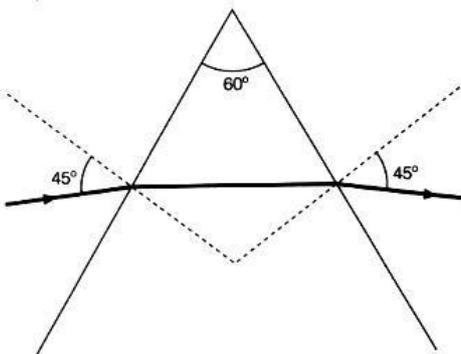
- a) 45°
- b) 60°
- c) 90°
- d) 30°
- e) 0°

67) Alguns instrumentos de óptica utilizam "prismas de reflexão total" como espelhos, como no caso da figura. O valor do índice de refração do vidro desse prisma deve ser maior que:



- a) 2,00
- b) 1,73
- c) 1,41
- d) 1,00
- e) 0,707

68) Um raio de luz monocromática incide em um prisma que está imerso no ar, segundo o desenho abaixo. O índice de refração do material que constitui o prisma é:



- a)  $\sqrt{2}/2$
- b)  $\sqrt{3}/2$
- c) 2
- d) 3

69) O desvio mínimo que certa radiação monocromática pode sofrer ao atravessar um dado prisma óptico é de 32°. Sabendo que o ângulo de refringência do prisma vale 46° e que  $\text{sen } 39^\circ =$

0,629 e  $\text{sen } 23^\circ = 0,390$ , podemos afirmar que o índice de refração do material de que ele foi feito tem valor:

- a) igual a 1,41.
- b) igual a 1,51.
- c) igual a 1,61.
- d) igual a 1,71.
- e) diferente de qualquer dos acima especificados.

70) Um estudante de Física dispõe de um paralelepípedo de material homogêneo e transparente (acrílico ou vidro, por exemplo) num laboratório de óptica. Dependendo da incidência da luz numa face adequada, do índice de refração do meio envolvente e do índice de refração do material do paralelepípedo, este pode ser usado:

- a) somente como um lâmina de faces paralelas.
- b) somente como uma lente.
- c) somente como um prisma óptico.
- d) como uma lâmina de faces paralelas ou como um prisma óptico.
- e) como uma lâmina de faces paralelas ou como uma lente.

**Gabarito**

- 45. A
- 46. C
- 47. B
- 48. B
- 49. E
- 50. C
- 51. B
- 52. D
- 53. B
- 54. D
- 55. B
- 56. A
- 57. A
- 58. D
- 59. B
- 60. C
- 61. E
- 62. A
- 63. D
- 64. A
- 65. D
- 66. B
- 67. C
- 68. C
- 69. C
- 70. D

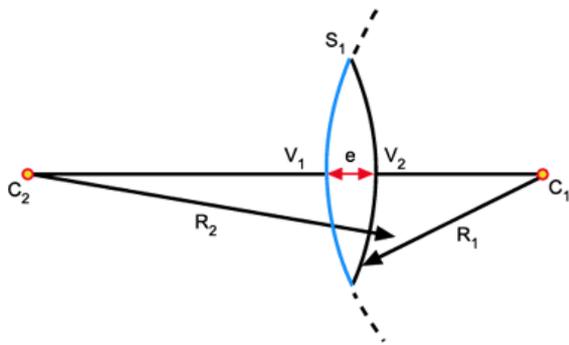
-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

**Lentes esféricas delgadas**

Lente esférica é o sistema óptico constituído por três meios homogêneos e transparentes separados por duas superfícies esféricas ou por uma superfície esférica e outra plana.



**Elementos geométricos de uma lente**

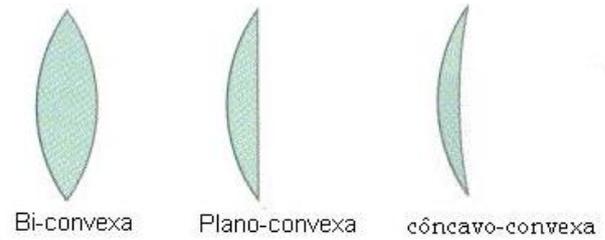


São elementos geométricos de uma lente:

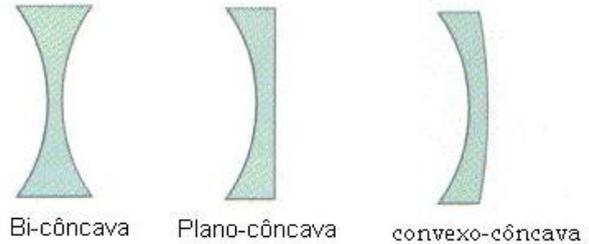
- Centro de curvatura ( $C_1$  e  $C_2$ ) das faces da lente;
- Raios de curvatura ( $R_1$  e  $R_2$ ) das faces da lente;
- Eixo principal: reta comum aos centros de curvatura
- Vértices ( $V_1$  e  $V_2$ ) das faces: interseção do eixo principal com as faces;
- Espessura ( $e$ ) da lente: distância entre os vértices.

**Tipos de lentes**

Para a nomenclatura das lentes, o critério mais adotado é nomear as faces voltadas para o meio exterior, assinalando em primeiro lugar a face de maior raio de curvatura. As lentes são também classificadas em lentes de bordos delgados e lentes de bordos espessos.



(a) Lentes de bordos delgados

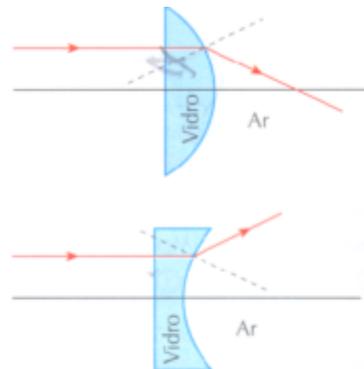


(b) Lentes de bordos espessos

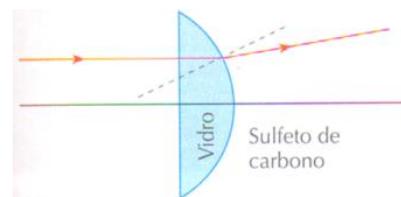
**Lentes convergentes e divergentes**

Quanto ao comportamento óptico, uma lente pode ser convergente ou divergente. Qualquer lente pode se comportar de uma ou outra maneira, conforme o meio onde está imersa.

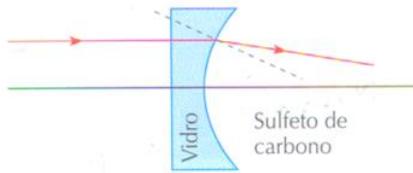
Consideremos, inicialmente, lentes de vidro ( $n = 1,5$ ) colocadas no ar ( $n = 1$ ). Neste caso, que é o mais comum, as lentes de bordos delgados são convergentes e as lentes de bordos espessos são divergentes.



Se as mesmas lentes de vidro ( $n = 1,5$ ) forem colocadas num meio de maior líquido que o do vidro, como por exemplo, sulfeto de carbono ( $n = 1,7$ ), a lente de bordos delgados se torna divergente e a de bordos espessos passa a ser convergente.



-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA



Em resumo:

Lente	Bordos delgados	Bordos espessos
Convergente	$n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$	$n_{\text{lente}} < n_{\text{meio}}$
Divergente	$n_{\text{lente}} < n_{\text{meio}}$	$n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$

As lentes delgadas convergentes e divergentes são representadas por um segmento de reta perpendicular ao eixo principal, não se representando o trajeto luminoso no seu interior.

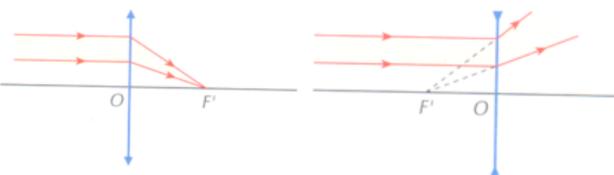


**Focos de uma lente delgada**

*Foco principal objeto F* de uma lente é o ponto do eixo principal ao qual ela conjuga raios emergentes paralelos ao eixo principal, isto é, uma imagem imprópria.



*Foco principal F'* de uma lente é o ponto do eixo principal que ela conjuga a raios incidentes paralelos ao eixo principal, isto é, a um objeto impróprio.

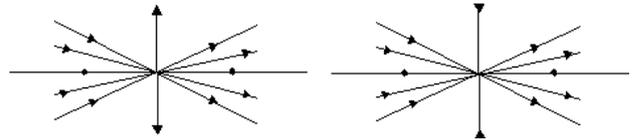


Observe que os focos principais são reais na lente convergente, isto é, definidos pelo cruzamento efetivo de raios luminosos, e virtuais na

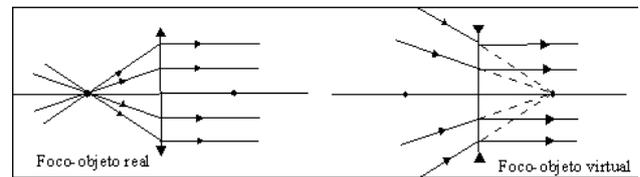
lente divergente, ou seja, definidos pelo cruzamento de prolongamentos de raios.

**Propriedades das lentes delgadas**

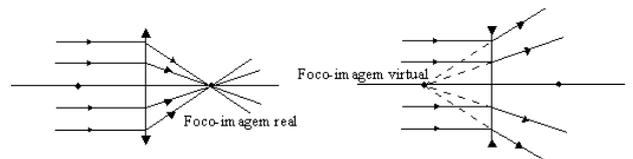
a) todo raio de luz que incide numa direção que passa pelo centro óptico da lente não sofre desvio ao atravessar a lente;



b) todo raio de luz que incide numa direção que passa pelo foco principal objeto F, emerge da lente paralelamente ao eixo principal;



c) todo raio de luz que incide paralelamente ao eixo principal emerge da lente numa direção que passa pelo foco principal imagem F'.



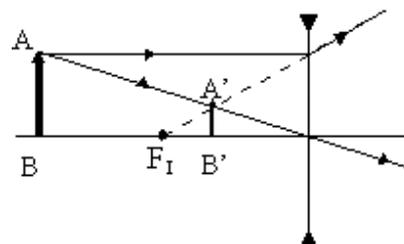
Nas duas últimas propriedades, a passagem pelos focos principais é efetiva na lente convergente e em prolongamento na lente divergente.

**Construção geométrica de imagens**

Lentes divergentes

A construção de imagens em lentes divergentes é feita de modo semelhante ao que foi feito na construção de imagens em espelhos esféricos convexos.

**VIRTUAL, DIREIRA E MENOR**



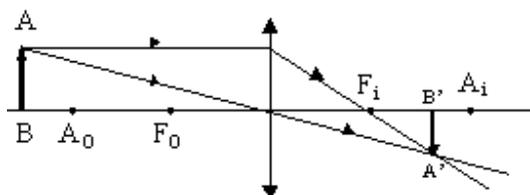
-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

Lentes convergentes

A construção de imagens em *lentes convergentes* é semelhante ao *espelho côncavo*, ou seja, a imagem tem características diversas, conforme a posição do objeto relativamente ao centro de curvatura e ao foco do espelho.

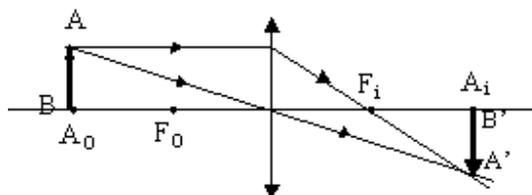
1ª) objeto além do ponto antiprincipal A

**REAL, INVERTIDA E MENOR**



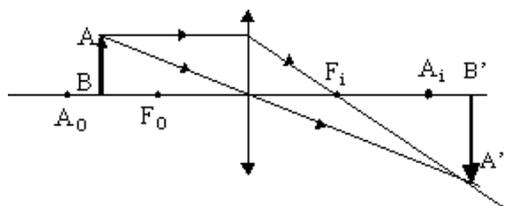
2ª) objeto sobre o ponto antiprincipal A

**REAL, INVERTIDA E IGUAL**



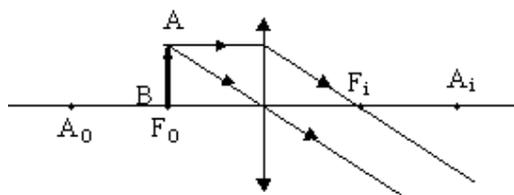
3ª) objeto entre A e o foco principal F

**REAL, INVERTIDA E MAIOR**



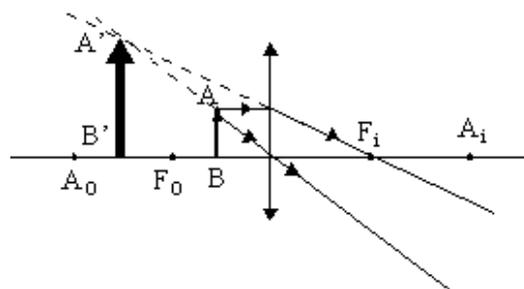
4ª) objeto sobre o foco principal

**IMAGEM IMPRÓPRIA**



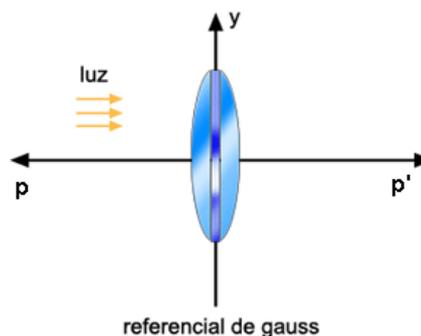
5ª) objeto entre o foco principal F e o centro óptico

**VIRTUAL, DIREITA E MAIOR**



**Estudo analítico das lentes**

A posição e a altura da imagem podem ser determinadas analiticamente adotando o seguinte sistema de coordenadas:



- Origem: centro óptico da lente;
- Eixo das abscissas: direção do eixo principal e sentido contrário ao da luz incidente para os objetos e a favor do da luz incidente para as imagens.
- Eixo das ordenadas: direção da perpendicular ao eixo principal e sentido ascendente.

A equação de Gauss também é válida para as lentes:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

O aumento linear da imagem é definido do mesmo modo adotado para os espelhos esféricos:

$$A = \frac{i}{o}$$

$$\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$

**Fórmula dos fabricantes de lentes**

A distância focal de uma lente pode ser determinada a partir da denominada fórmula dos fabricantes de lentes, proposta por Edmund Halley:

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Na qual  $n_2$  é o índice de refração da lente e  $n_1$  é o índice de refração do meio que a envolve.

Para os raios de curvatura  $R_1$  e  $R_2$ , deve-se usar a seguinte convenção de sinais:

Face convexa – raio positivo  
Face côncava – raio negativo

Quando uma das faces da lente é plana, seu raio pode ser considerado infinitamente grande, e a fórmula anterior se torna:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \frac{1}{R}$$

### Vergência das lentes

Vergência ou convergência  $D$  de uma lente é, por definição, o inverso de sua distância focal  $f$ , apresentando o mesmo sinal que esta:

$$D = \frac{1}{f}$$

Lente convergente:  $D > 0$   
Lente divergência:  $D < 0$

A unidade mais comum de vergência é o inverso de metro ( $m^{-1}$ ), denominada *dioptria* (símbolo  $di$ ).

Podemos entender a vergência como sendo uma medida da capacidade da lente de desviar a luz.

### Associação de lentes – Lentes justapostas

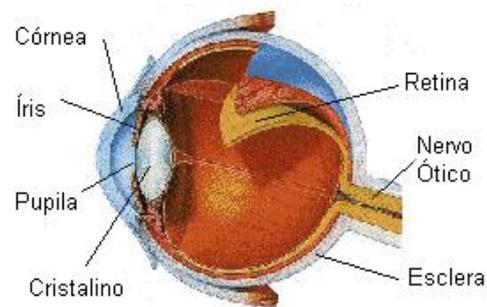
A lente equivalente à associação de duas lentes justapostas apresenta vergência  $D$  igual à soma algébrica das vergências das lentes associadas:

$$D = D_1 + D_2$$

Esse tipo de associação corrige a *aberração cromática*, causada pela decomposição da luz branca ao atravessar uma única lente.

### Instrumentos Ópticos

### Olho humano



A figura acima contém as principais partes do olho humano que participam da percepção visual.

- **Córnea:** refrata os raios de luz que entram nos olhos e exerce o papel de proteção à estrutura interna do olho.
- **Íris:** é a porção visível e colorida do olho logo atrás da córnea. A sua função é regular a quantidade de luz que entra nos nossos olhos.
- **Pupila:** é a abertura central da íris, através da qual a luz passa.
- **Cristalino:** é uma lente biconvexa natural do olho e sua função é auxiliar na focalização da imagem sobre a retina.
- **Retina:** é a membrana fina que preenche a parede interna e posterior do olho, que recebe a luz focalizada pelo cristalino. Contém fotorreceptores que transformam a luz em impulsos elétricos, que o cérebro pode interpretar como imagens.
- **Nervo ótico:** transporta os impulsos elétricos do olho para o centro de processamento do cérebro, para a devida interpretação.
- **Esclera:** é a capa externa, fibrosa branca e rígida que envolve o olho, contínua com a córnea. É a estrutura que dá forma ao globo ocular.

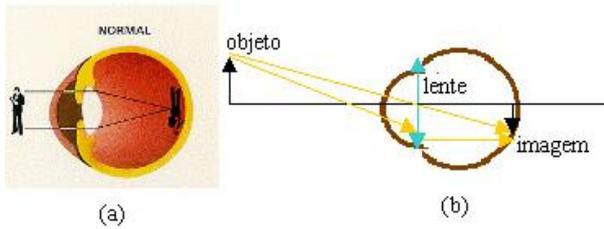
### Funcionamento

Nossos olhos são como uma câmara fotográfica. Ambos têm uma abertura para a passagem de luz, uma lente e um anteparo onde a imagem é recebida e registrada.

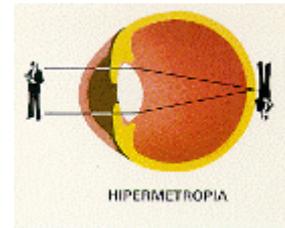
Simplificando, vamos considerar possuindo uma única lente convergente biconvexa (meios transparentes, mais o cristalino) situada a 5 mm da córnea e a 15 mm da retina.

Quando os raios de luz provenientes de um objeto atravessam essa lente, forma uma imagem real e invertida localizada exatamente sobre a retina para que ela seja nítida. A retina transmite as informações ao cérebro, através do nervo ótico, que processa uma inversão da imagem fazendo com que nós vejamos o objeto na sua posição normal.

# -FÍSICA- ÓPTICA GEOMÉTRICA



mais curto que o normal, fazendo com que a imagem se forme atrás da retina.



## Defeitos da visão

Antes de estudar os defeitos da visão/correção, vamos entender como o olho se acomoda para enxergar objetos em diferentes posições, variando a distância focal da lente do olho.

O cristalino, que é uma lente convergente, possui ligado a ele um conjunto de músculos provocando variações nas curvaturas de suas faces e conseqüentemente na distância focal. Portanto, para uma determinada posição do objeto, os músculos ajustam a distância focal do cristalino para que a imagem seja formada sobre a retina. Essa propriedade do olho é denominada *acomodação visual*.

Uma pessoa de visão normal pode enxergar objetos situados desde uma distância média convencional de 25 cm (posição conhecida como *ponto próximo*) até o infinito.

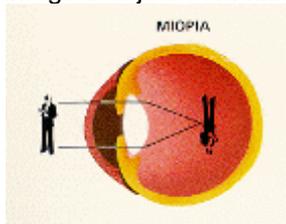
Para corrigir a hipermetropia usa-se uma lente convergente para aumentar a convergência dos raios fazendo com que a imagem se forme exatamente sobre a retina. Neste caso, a receita de óculos de uma pessoa com hipermetropia vem com a vergência positiva (+ 5 di) indicando que é necessária uma lente convergente para a correção.

## Presbiopia ou "vista cansada"

Quando a pessoa vai envelhecendo, o cristalino vai perdendo a elasticidade e a pessoa fica com dificuldade para enxergar de perto. A imagem do objeto se forma depois da retina como na hipermetropia. Para corrigir, é utilizada uma lente convergente.

## Miopia

A pessoa que possui miopia tem o globo ocular um pouco mais alongado que o normal. Nesse caso a imagem se forma antes da retina e a pessoa não enxerga o objeto com nitidez.



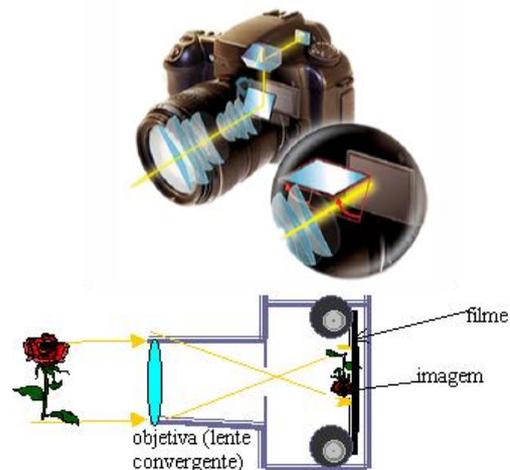
## Instrumentos de projeção

### Máquina fotográfica

As máquinas fotográficas evoluíram muito. Antigamente a objetiva da máquina fotográfica era constituída de uma única lente e atualmente é constituída de várias lentes.

Para corrigir a miopia usa-se lente divergente para diminuir a convergência dos raios luminosos, fazendo com que a imagem se forme sobre a retina.

Observe que em uma receita de óculos para uma pessoa que é míope, a vergência da lente vem com sinal negativo (por exemplo - 5 di), indicando que é necessária uma lente divergente para correção.



## Hipermetropia

As pessoas que apresentam hipermetropia, ao contrário da miopia, apresentam o globo ocular

A figura acima representa uma câmara fotográfica simplificada, sem os refinamentos óticos ou mecânicos. A objetiva está representada por uma única lente convergente que forma uma

## -FÍSICA- ÓPTICA GEOMÉTRICA

imagem real e invertida do objeto fotografado, sobre o filme situado na parte posterior da máquina.

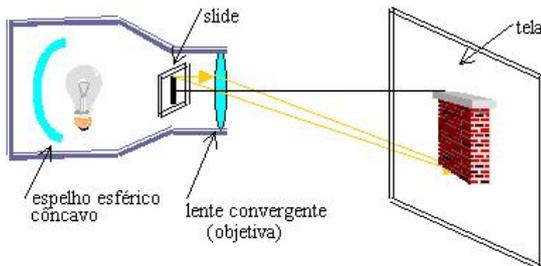
A luz, ao incidir sobre o filme, provoca reações químicas, fazendo com que a imagem fique gravada. Em uma câmara digital não há filme, então a luz é recebida por um sensor de imagem que mensura a intensidade da luz e gera um pulso elétrico correspondente.

Para que seja fornecida sobre o filme uma imagem real e menor do objeto, o objeto deve estar situado antes da dupla distância focal.

### Projektor de slides

Um projetor de *slides* serve para projetar em uma tela uma imagem real e aumentada do objeto que está no *slide*.

Basicamente, ele é constituído de uma lente convergente, como objetiva, e uma lâmpada cujo filamento está situado no centro de curvatura do espelho côncavo que juntos servem para iluminar com bastante intensidade o *slide*.



Para obter uma imagem real, maior e aumentada, o slide precisa estar situado a uma distância menor que a dupla distância focal (antes do foco).

### **Instrumentos de observação**

#### Lupa

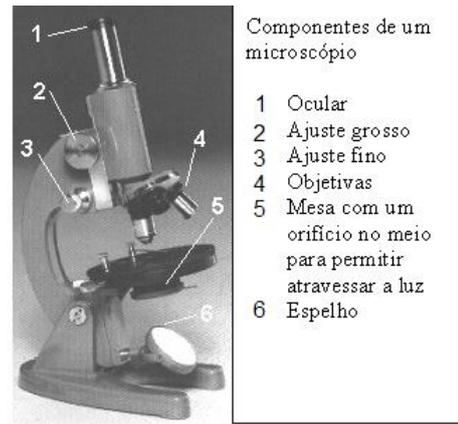
A lupa é uma lente convergente que fornece uma imagem virtual direita e aumentada de um objeto real.



Neste caso o objeto está situado entre o foco e o centro ótico da lente.

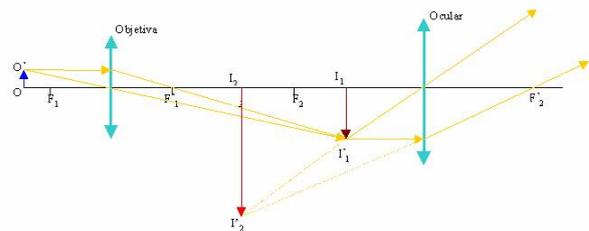
#### Microscópio composto

Um microscópio ótico é utilizado para observar objetos de pequenas dimensões.



A parte ótica do microscópio é constituída basicamente de duas lentes convergentes, geralmente compostas, associadas coaxialmente (possuem o mesmo eixo ótico), que são:

- objetiva que está próxima ao objeto.
- ocular com a qual observamos a imagem fornecida pela objetiva.



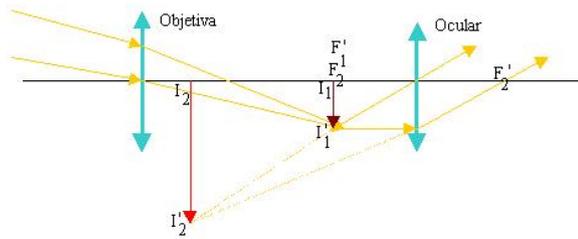
O aumento linear do microscópio é igual ao produto do aumento linear transversal da objetiva pelo aumento linear transversal da ocular.

Os aumentos dos microscópios variam entre 300 e 2000 vezes. Não pode ser maior que estes valores porque quando as dimensões, a serem observadas, forem da ordem do comprimento de luz, ocorre o fenômeno da difração, fazendo com que se perca a nitidez da imagem. Já os microscópios eletrônicos, que utilizam feixes de elétrons, produzem aumentos superiores a 100.000 vezes.

#### Luneta astronômica

A luneta ou telescópio de refração é utilizada para observar objetos distantes. A luneta astronômica tem como o microscópio, duas lentes convergentes: a objetiva que ao contrário do microscópio apresenta grande distância focal e a ocular.

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA



Observe que os focos da ocular e da objetiva praticamente coincidem.

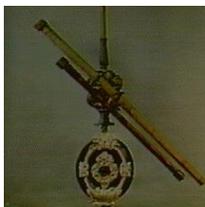
O aumento visual de uma luneta é expresso pela relação entre as distâncias focais da objetiva ( $f_1$ ) e da ocular ( $f_2$ ):

$$A = \frac{f_1}{f_2}$$

A desvantagem da luneta astronômica para observar objetos terrestres é que ela fornece uma imagem invertida.

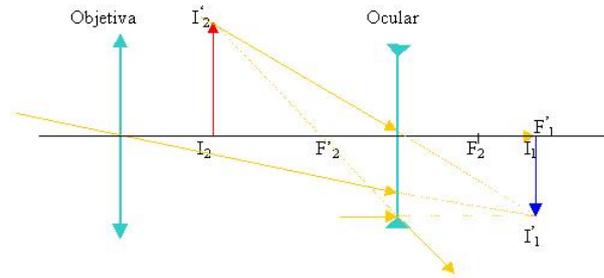
Luneta terrestre

A luneta terrestre é semelhante à astronômica só que a imagem final obtida é direita. A figura mostra a luneta terrestre construída por Galileu em 1609.



Esta luneta tem como elemento característico uma ocular divergente. A objetiva é uma lente convergente.

A distância entre as duas lentes é aproximadamente igual à diferença entre as duas distâncias focais (na construção do telescópio coloca-se esta distância igual). A imagem final é direita, virtual e maior.

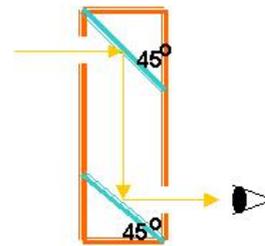


Os telescópios de reflexão utilizam um espelho parabólico côncavo no lugar da lente objetiva. A vantagem é que se têm menos aberrações e por causa disto os telescópios de reflexão são mais utilizados nos observatórios. Outra vantagem é o baixo custo.

Periscópio

Serve para observar objetos que não estão no mesmo nível dos olhos.

Um periscópio é constituído, basicamente, de dois espelhos colocados inclinados de  $45^\circ$  ou de dois prismas de reflexão total.



O raio de luz ao incidir no primeiro espelho reflete, incidindo no segundo espelho. Após incidir no segundo espelho, o raio de luz reflete novamente, atingindo o olho do observador.

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

**Exercícios: Lentes e instrumentos ópticos**

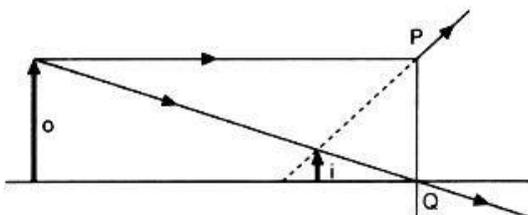
71) Uma lente de vidro cujos bordos são mais espessos que a parte central:  
a) deve ser divergente,  
b) deve ser convergente.  
c) no ar, é sempre divergente.  
d) mergulhada num líquido, torna-se divergente.  
e) nunca é divergente.

72) As imagens de objetos reais produzidas por lentes e espelhos podem ser reais ou virtuais. A respeito das imagens virtuais, pode-se afirmar corretamente que  
a) são sempre maiores que o objeto,  
b) são sempre menores que o objeto.  
c) podem ser diretas ou invertidas.  
d) são sempre diretas.  
e) são sempre invertidas.

73) Tem-se um objeto luminoso situado num dos focos principais de uma lente convergente. O objeto afasta-se da lente, movimentando-se sobre seu eixo principal. Podemos afirmar que a imagem do objeto, à medida que ele se movimenta:  
a) cresce continuamente.  
b) passa de virtual para real.  
c) afasta-se cada vez mais da lente.  
d) aproxima-se do outro foco principal da lente.  
e) passa de real para virtual.

74) A imagem de um objeto real formada por uma lente delgada divergente:  
a) é real.  
b) é invertida.  
c) é menor do que o objeto.  
d) localiza-se, em relação à lente, a uma distância superior ao raio de curvatura da lente.  
e) localiza-se entre o ponto focal e o centro de curvatura da lente.

75) O diagrama mostra um objeto (o), sua imagem (i) e o trajeto de dois raios luminosos que saem do objeto.  
Que dispositivo óptico colocado sobre a linha PQ produzirá a imagem mostrada?



a) Espelho plano.  
d) Lente convergente.  
b) Espelho côncavo.  
e) Lente divergente.  
c) Espelho convexo.

76) A imagem da chama de uma vela formada por uma lente é invertida e duas vezes maior do que a chama. Sendo assim, conclui-se que:  
a) a lente é divergente.  
b) a distância objeto-lente é menor que a distância focal.  
c) a distância objeto-lente é o dobro da distância focal.  
d) a distância objeto-lente é a metade da distância lente-imagem.  
e) o objeto localiza-se no foco da lente.

77) Um objeto real está situado a 10 cm de uma lente convergente de distância focal 5 cm. A distância da imagem à lente será, em cm, de:  
a) 5  
b) 10  
c) 15  
d) 20  
e) 25

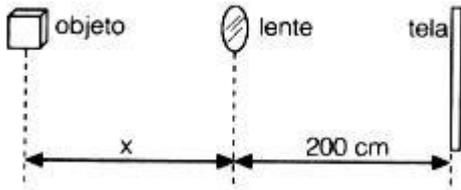
78) Projeta-se, com o auxílio de uma lente delgada, a imagem real de uma vela, colocada a 20 cm da lente, numa tela que dista 80 cm da vela. A distância focal da lente e o aumento linear transversal da imagem são, respectivamente, iguais a:  
a) 15 cm e 3.  
b) 15 cm e -3.  
c) -15 cm e -3.  
d) -10 cm e -4.  
e) 16 cm e -4.

79) Uma lente de distância focal 10 cm é usada para obter a imagem de um objeto de 5 cm de altura. A distância a que o objeto deve estar da lente, para se obter uma imagem real de 1 cm de altura, é:  
a) 30 cm  
b) 60 cm  
c) 50 cm  
d) 15 cm  
e) 11 cm

80) Um objeto real que se encontra a uma distância de 25 em de uma lente esférica delgada divergente, cuja distância focal é, em valor absoluto, também de 25 em, terá uma imagem:  
a) virtual, direita e reduzida, a 12,5 em do objeto.  
b) real, invertida e do mesmo tamanho do objeto, a 25 em da lente.  
c) real, invertida e ampliada, a 12,5 em da lente.  
d) virtual, direita e ampliada, a 25 em do objeto.  
e) Não fornecerá imagem.

81) Para que a imagem do objeto (ver figura) apareça nítida na tela, a lente cuja distância focal é de 40 cm deve estar a uma distância x do objeto igual, aproximadamente, a:

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

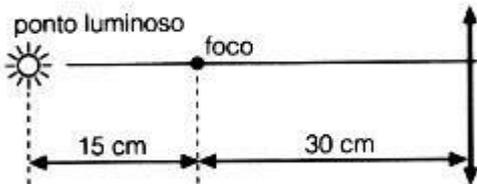


- a) 33,3 cm
- b) 40,0 cm
- c) 50,0 cm
- d) 66,6 cm
- e) 80,0 cm

82) Uma lente conjuga, a um objeto real, uma imagem também real de mesmo tamanho. A distância entre o objeto e a imagem é de 120 cm. A distância focal da lente vale:

- a) 60 cm
- b) 50 cm
- c) 40 cm
- d) 30 cm
- e) 20 cm

83) A figura mostra a posição de um ponto luminoso sobre o eixo óptico de uma lente convergente, deslocando-se o ponto luminoso de 3,0 cm numa direção perpendicular ao eixo óptico, a imagem do ponto deslocar-se-á de:



- a) zero
- b) 1,5 cm
- c) 2,0 cm
- d) 3,0 cm
- e) 6,0 cm

84) Uma lente delgada convergente tem distância focal igual a 10,0 cm. A distância de um objeto real ao foco objeto da lente é de 20,0 cm. A distância, em cm, da imagem ao foco imagem, e duas características da imagem são:

- a) 5,0, real e invertida.
- b) 5,0, real e direta.
- c) 25,0, real e invertida.
- d) 25,0, real e direta.
- e) 25,0, virtual e direta.

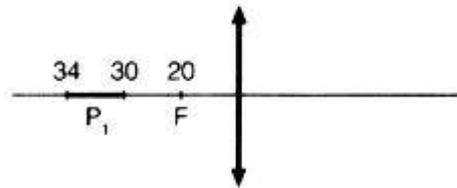
85) Na determinação da altura de um objeto incandescente usa-se uma lente convergente de 12 cm de distância focal, obtendo-se uma imagem de 4 cm de altura, quando o objeto é colocado a uma distância da lente igual a duas vezes a distância focal. A altura do objeto vale:

- a) 4 cm
- b) 8 cm
- c) 2 cm
- d) 1,4 cm
- e) 2,8 cm

86) Uma lente convergente fornece, de um objeto real, disposto perpendicularmente ao seu eixo e situado a 3 cm de distância, uma imagem virtual 3 vezes maior que o objeto. A distância focal da lente é:

- a) 4,5 cm
- b) 2,25 cm
- c) 0,48 cm
- d) 5,0 cm
- e) 3,0 cm

87) Um palito de fósforo, de comprimento 4,0 cm, é colocado sobre o eixo principal de uma lente convergente de distância focal  $f = 20,0$  cm, com a cabeça a 10,0 cm do foco principal, conforme a figura. Nossas condições, a imagem do palito tem comprimento



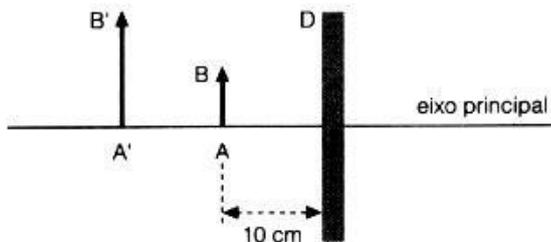
- a) 2,0 cm
- b) 4,0 cm
- c) 8,0 cm
- d) 9,2 cm
- e) 11,4 cm

88) Uma pequena lâmpada é colocada a 1,0 m de distância de uma parede. Pede-se a distância a partir da parede em que deve ser colocada uma lente de distância focal 22,0 cm para produzir na parede uma imagem nítida e ampliada da lâmpada.

- a) 14 cm
- b) 26,2 cm
- c) 67,3 cm
- d) 32,7 cm
- e) outro valor

89) No esquema representamos um sistema óptico D que pode ser um espelho esférico ou uma lente esférica delgada, utilizado nas condições de aproximação de Gauss. O segmento AB representa um objeto real e A'B' sua imagem fornecida por D.

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA



Sabe-se que o tamanho da imagem é o dobro do tamanho do objeto. A respeito da natureza do sistema óptico e do módulo da distância focal assinale a opção correta.

	Dispositivo D	Distância focal (em módulo)
a)	Lente divergente	6,7 cm
b)	Espelho côncavo	20 cm
x c)	Lente convergente	20 cm
d)	Espelho convexo	6,7 cm
e)	Lente convergente	6,7 cm

90) Uma lente divergente possui 10 cm de distância focal. A convergência da lente é de:

- a) 1/10 di
- b) 10 di
- c) -1/10 di
- d) -10 di
- e) 20 di

91) Um objeto real encontra-se a 20 cm de uma lente biconvexa convergente de 10 dioptrias. Sua imagem é:

- a) real e invertida.
- b) real e direita.
- c) virtual e invertida.
- d) virtual e direita.
- e) n. d. a.

92) Duas lentes delgadas justapostas têm convergências de 2,0 dioptrias e 3,0 dioptrias. A convergência da associação em dioptrias será de:

- a) 1,0
- b) 1,2
- c) 2,0
- d) 3,0
- e) 5,0

93) Duas lentes convergentes, I e II, têm distâncias focais, respectivamente,  $f_1 = 20$  cm e  $f_2 = 10$  cm. Colocadas em contato com o mesmo eixo, elas Produzem uma lente equivalente:

- a) divergente e com  $f = 3,33$  cm.
- b) divergente e com  $f = 5,0$  cm.
- c) convergente e com  $f = 15$  cm,
- d) convergente e com  $f = 6,67$  cm.
- e) convergente e com  $f = 13,3$  cm.

94) Os raios de curvatura de uma lente biconvexa

valem 5 cm e 50 cm. Calcule a convergência dessa lente, quando imersa no ar ( $n = 1$ ). Sabe-se que o índice de refração do material da lente vale  $3/2$

- a) 1,5 di
- b) 2,0 di
- c) 2,5 di
- d) 3,0 di
- e) 3,5 di

95) Uma lente biconvexa de vidro de índice de refração 1,5 é usada em três experiências sucessivas, A, B e C. Em todas elas recebe um feixe de raios paralelos ao seu eixo principal. Na experiência A, a lente está imersa no ar; em B, na água de índice de refração 1,33; e, em C, imersa em bissulfeto de carbono líquido de índice de refração 1,64. O feixe de luz emergente:

- a) é convergente nas experiências A, B e C.
- b) é divergente nas experiências A, B e C.
- c) é convergente em A e B e divergente em C.
- d) é divergente em A e B e convergente em C.
- e) é divergente em A e convergente em B e C.

96) Considerando uma lente biconvexa cujas faces possuem o mesmo raio de curvatura, podemos afirmar que:

- a) o raio de curvatura das faces é sempre igual ao dobro da distância focal.
- b) o raio de curvatura é sempre igual à metade do recíproco de sua vergência.
- c) ela é sempre convergente, qualquer que seja o meio envolvente,
- d) ela só é convergente se o índice de refração do meio envolvente for maior que o do material da lente.
- e) ela só é convergente se o índice de refração do material da lente for maior que o do meio envolvente.

97) Calcule a distância focal do sistema composto da justaposição de duas lentes delgadas, uma plano convexa de 60 cm de raio e índice de refração 1,8 e outra plano-côncava de 80 cm de raio e índice de refração 1,5.

- a) 15 m
- b) 7,5 m
- c) 1,41 m
- d) 1,36 m
- e) n. d. a.

98) Uma câmara tipo caixote possui uma única lente delgada convergente de 15,0 cm de distância focal. Você vai usá-la para fotografar um estudante que está em pé a 800 cm da câmara, à frente dela. Qual deve ser a distância da lente ao filme para que a imagem do estudante seja focalizada sobre o filme?

- a) +15,3 cm
- b) -7,5 cm
- c) +10,3 cm

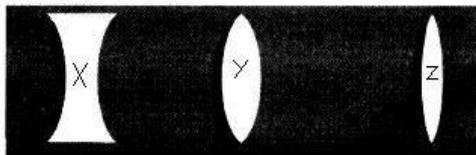
-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

- d) +53,3 cm  
e) +25,8 cm

99) Uma câmara fotográfica com objetiva de distância focal 10 cm é usada para fotografar objetos distantes. A distância da objetiva ao filme é da ordem de:

- a) 25 cm  
b) 20 cm  
c) 10 cm  
d) 5 cm  
e) 2,5 cm

100) Sobre as lentes afirmou-se que:



- I - A lente do tipo Y possui maior distância focal.  
II - A lente X é a do tipo dos óculos do míope.  
III - A lente Z pode ser usada para projetar imagens de um objeto sobre uma tela.

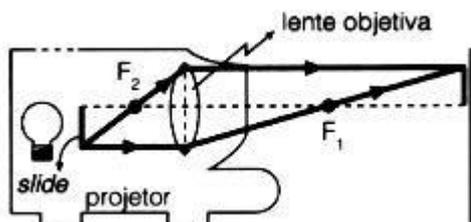
Dessas afirmações:

- a) somente I e II estão corretas.  
b) somente I e III estão corretas.  
c) somente II e III estão corretas.  
d) todas estão corretas.  
e) nenhuma está correta.

101) A objetiva de um projetor cinematográfico tem distância focal 10 cm. Para que seja possível obter uma ampliação de + 200 vezes, o comprimento da sala de projeção deve ser aproximadamente:

- a) 20 m  
b) 15 m  
c) 10 m  
d) 5 m  
e) 4 m

102) Um projetor de slides deve projetar na tela uma imagem ampliada 24 vezes. Se a distância focal da lente objetiva do projetor é de 9,6 cm, a que distância do slide deve ser colocada a tela?



- a) 250 cm  
b) 240 cm  
c) 10 cm  
d) 230 cm  
e) n. d. a.

103) Por meio de um projetor, obtém-se uma imagem com aumento linear transversal igual a 20.

A distância do projetor à tela é  $d = 5,25$  m. A convergência da lente do projetor, em dioptrias, é:

- a) 25,0  
b) 0,25  
c) 4,0  
d) 0,0525  
e) 1,25

104) Um projetor de diapositivos (slides) usa uma lente convergente para produzir uma imagem na tela que se encontra a 5 m da lente. Um slide com medidas 2 cm x 3 cm tem na tela imagem com medidas 100 cm x 150 cm. A distância focal dessa lente é, aproximadamente:

- a) 10 cm  
b) 5 cm  
c) 1 cm  
d) 0,5 cm  
e) 0,1 cm

105) Um estudante de Física dispõe de uma lente biconvexa de índice de refração  $n = 1,6$  e faces de raios de curvatura iguais a 10 cm. Com esta lente o estudante deseja construir um projetor de diapositivos de forma que a película fique a 10 cm dela. Adote  $n_{ar} = 1,0$ . A imagem fornecida deverá ser projetada a uma distância de:

- a) 0,20 m da lente.  
b) 0,50 m da lente.  
c) 2,0 m da lente.  
d) 0,50 m da película.  
e) 2,0 m da película.

106) Uma lupa, quando produz uma imagem a 30 cm da lente, para fornecer uma capacidade de aumento de 16 vezes deve ter sua distância focal de:

- a) 2 cm  
b) 2,5 cm  
c) 3 cm  
d) 3,5 cm  
e) 4 cm

107) Um telescópio astronômico tipo refrator é provido de uma objetiva de 1000 mm de distância focal. Para que o seu aumento angular seja de aproximadamente 50 vezes, a distância focal da ocular deverá ser de:

- a) 10 mm  
b) 50 mm  
c) 150 mm  
d) 25 mm  
e) 20 mm

108) A imagem que se observa de um microscópio composto é:

- a) real e invertida.  
b) real e direita.  
c) virtual e direita.

-FÍSICA-  
ÓPTICA GEOMÉTRICA

- d) real e ampliada.  
e) virtual e invertida.

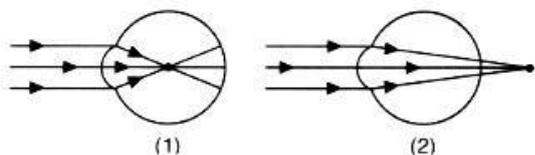
109) Numa luneta astronômica a focal cujo aumento é 30, é usada uma ocular de 5 cm de distância focal. O comprimento da luneta deve ser de:

- a) 25 cm  
b) 30 cm  
c) 35 cm  
d) 150 cm  
e) 155 cm

110) Na formação das imagens na retina da vista humana normal, o cristalino funciona como uma lente:

- a) convergente, formando imagens reais, diretas e diminuídas.  
b) divergente, formando imagens reais, diretas e diminuídas.  
c) convergente, formando imagens reais, invertidas e diminuídas.  
d) divergente, formando imagens virtuais, diretas e ampliadas.  
e) convergente, formando imagens virtuais, invertidas e diminuídas.

111) Os esquemas correspondem a um olho míope (1) e um olho hipermetrope (2). As lentes corretivas devem ser, respectivamente, para (1) e (2):



- a) divergente e convergente.  
b) divergente e divergente.  
c) biconvexa o bicôncava.  
d) convergente e divergente.  
e) convergente e convergente.

112) Uma pessoa que é míope não vê com nitidez objetos que estejam além de 50 cm. As lentes que ela deve usar devem ter, respectivamente, distância focal e convergência de: (a menos do sinal)

- a) 50 cm; 0,5 dioptria.  
b) 50 cm; 50 dioptrias.  
c) 50 cm; 2 dioptrias.  
d) 50 cm; 1 dioptria.  
e) 100 cm; 1 dioptria.

113) Uma pessoa, para ler um jornal, precisa colocá-lo à distância de 50 cm; se quiser lê-lo à distância de 25 cm, deverá utilizar óculos com

lentes esféricas de distância focal:

- a) 50 cm  
b) 25 cm  
c) - 50 cm  
d) - 25 cm  
e) 20 cm

**Gabarito**

71. C  
72. D  
73. D  
74. C  
75. E  
76. D  
77. B  
78. B  
79. B  
80. A  
81. C  
82. D  
83. E  
84. A  
85. A  
86. A  
87. E  
88. C  
89. C  
90. D  
91. A  
92. E  
93. D  
94. B  
95. C  
96. E  
97. C  
98. A  
99. C  
100. C  
101. A  
102. B  
103. C  
104. A  
105. B  
106. A  
107. E  
108. E  
109. E  
110. C  
111. A  
112. C  
113. A