



CIÊNCIAS NATURAIS E SUAS TECNOLOGIAS



ENEM2011

Módulo 1. Conceitos básicos de Óptica

1. Luz

Agente físico que sensibiliza nossos órgãos visuais.

2. Fontes de luz

2.1. Primárias (corpos luminosos)

2.2. Secundárias (corpos iluminados)

3. Meios ópticos (quanto à transparência)

Transparentes
Translúcidos
Opacos

4. Velocidade da luz

No vácuo: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

5. Ano-luz

1 ano-luz $\cong 9,5 \cdot 10^{15}$ m

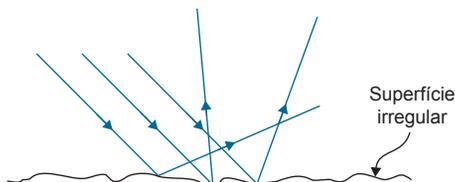
6. Fenômenos ópticos básicos

6.1. Reflexão

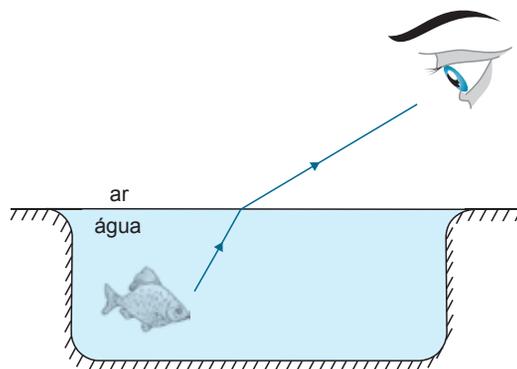
I. Regular



II. Irregular

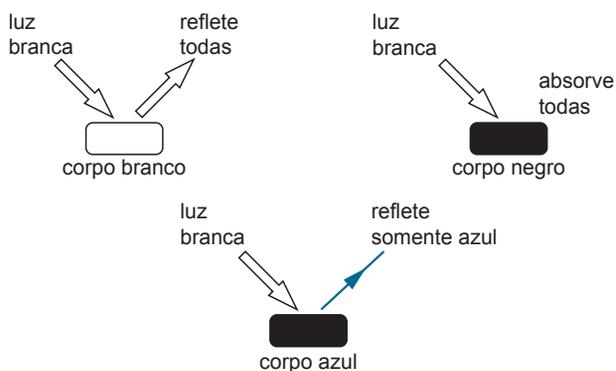


6.2. Refração



6.3. Absorção

Obs. – Reflexão seletiva (cor dos corpos)



Módulo 2. Princípios da Óptica Geométrica

1. Propagação retilínea

Em um meio transparente, homogêneo e isotrópico, a luz se propaga em linha reta.

2. Reversibilidade

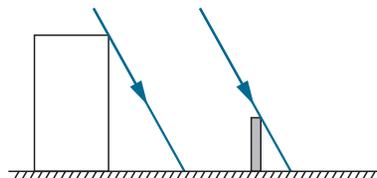
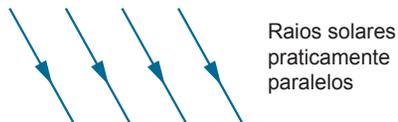
O caminho percorrido por um raio de luz entre dois pontos quaisquer é único, independentemente do sentido.

3. Independência

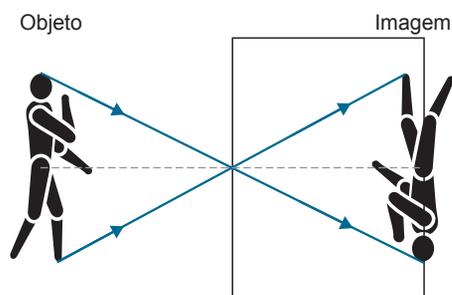
Caso haja cruzamento entre dois ou mais raios de luz, estes seguirão seus caminhos como se nada tivesse acontecido.

4. Aplicação de propagação retilínea da luz

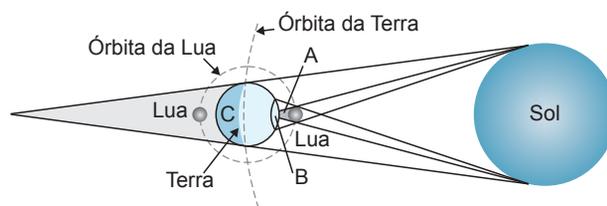
Sombras na superfície da Terra



Câmara escura de orifício



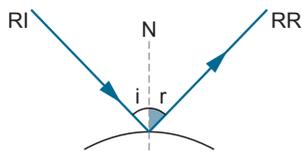
Eclipses lunar e solar



A: eclipse solar total B: eclipse solar parcial C: eclipse lunar

Módulo 3. Espelhos planos (I)

1. Leis da reflexão

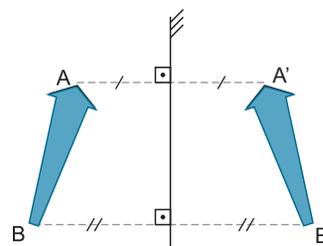


1ª) O raio incidente (RI), o raio refletido (RR) e a reta normal (N) são coplanares.

2ª) Os ângulos de incidência (i) e de reflexão (r) são iguais.

$$i = r$$

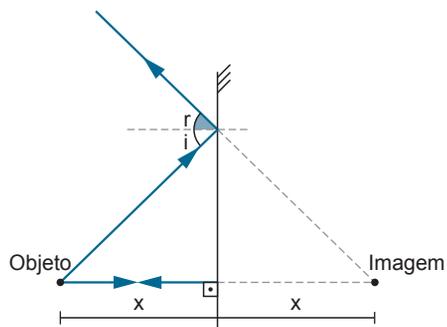
2.2. Objeto estenso



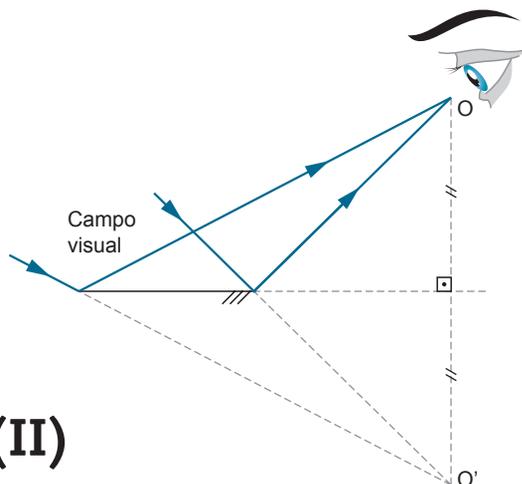
Obs. - Enantiomorfismo:

2. Formação de imagens em espelhos planos

2.1. Objeto pontual

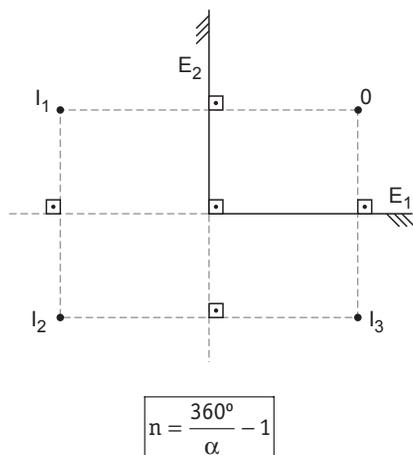


3. Campo visual de espelhos

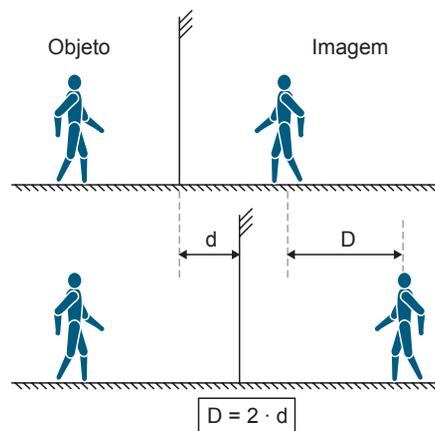


Módulo 4. Espelhos planos (II)

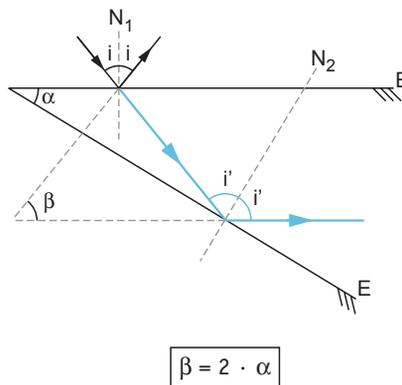
1. Associação de espelhos planos



2. Translação de espelhos planos

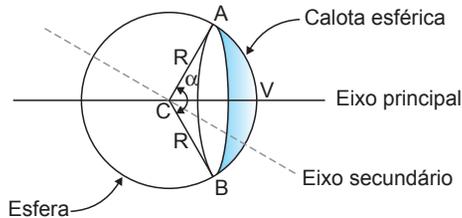


3. Rotação de espelhos



Módulo 5 · Espelhos esféricos (I)

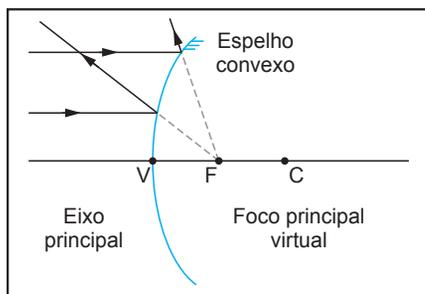
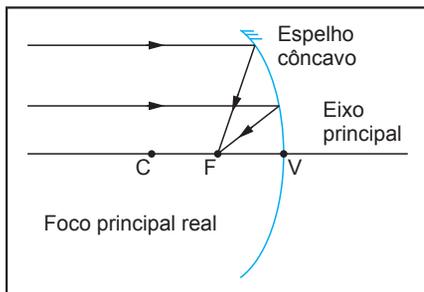
1. Elementos básicos



C: centro de curvatura do espelho
 V: vértice do espelho
 R: raio de curvatura
 α : ângulo de abertura
 Obs.: condições de estigmatismo de Gauss:
 - ângulo α "pequeno" ($\alpha \leq 10^\circ$)
 - raios paraxiais
 (em nosso estudo \Rightarrow espelhos gaussianos)

2. Foco do espelho

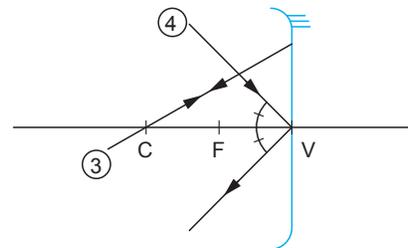
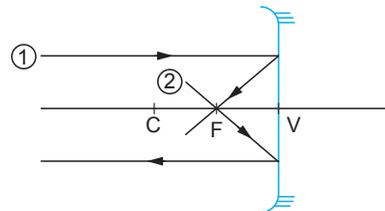
Ponto no qual se forma a imagem de um objeto que se encontra no infinito. Pela reversibilidade da luz, para um objeto no foco, a imagem é formada no infinito.



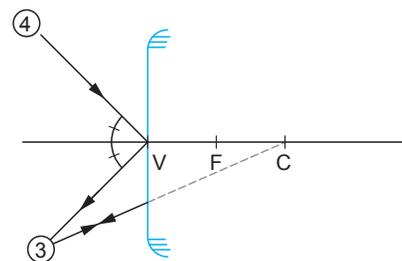
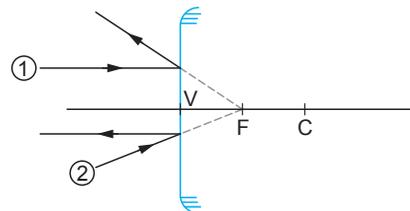
Obs.: distância focal $\Rightarrow f = \frac{R}{2}$

3. Raios notáveis

a) Espelho côncavo



b) Espelho convexo



Obs.: para se determinar a imagem do ponto objeto, conjugada por um espelho esférico, basta traçar dois raios de luz, dentre os notáveis, e determinar o ponto de encontro após a reflexão.

Módulo 6 · Espelhos esféricos (II)

Imagens (construção gráfica das imagens de objetos reais)

1. Espelho côncavo

I. Objeto antes do centro C

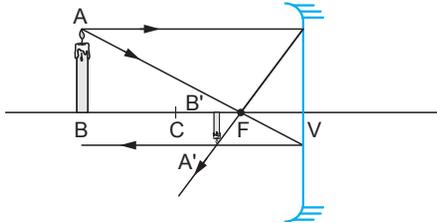


Imagem {
real
invertida
menor

II. Objeto sobre o centro C

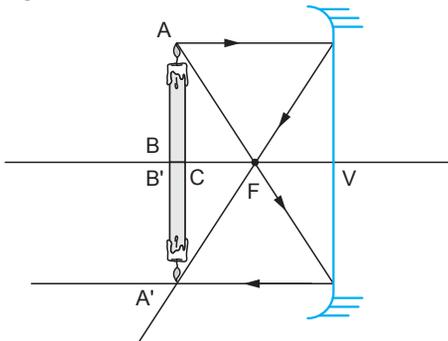


Imagem {
real
invertida
"igual"

III. Objeto entre o centro C e o foco F

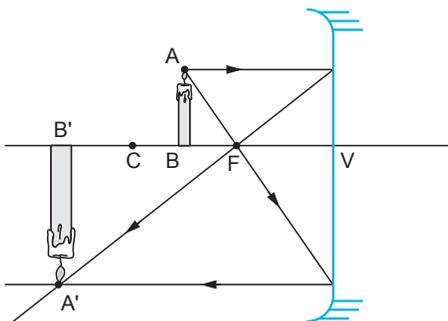


Imagem {
real
invertida
maior

IV. Objeto sobre o foco F

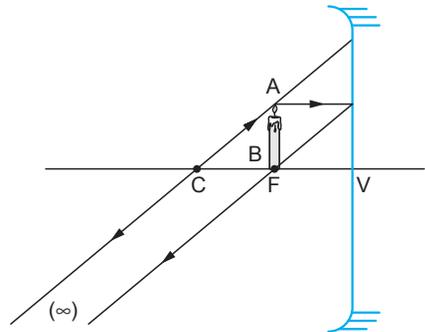


Imagem {
imprópria
(∞)

V. Objeto entre o foco F e o vértice V

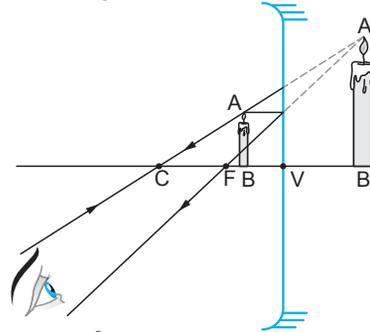
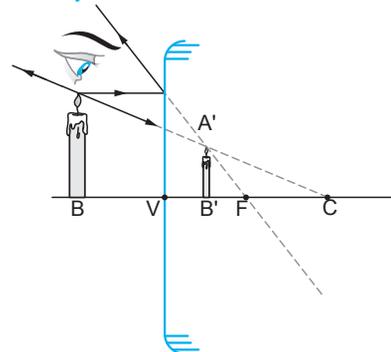


Imagem {
virtual
direita
maior

Obs.: as imagens reais podem ser projetadas.

2. Espelho convexo

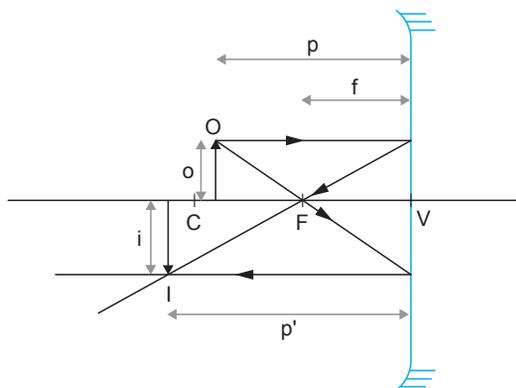


Objeto em qualquer posição diante do espelho

Imagem {
virtual
direita
menor

Módulo 7. Espelhos esféricos (III)

Estudo analítico



- f: distância focal
- p: distância do objeto ao espelho
- p': distância da imagem ao espelho
- o: altura do objeto
- i: altura da imagem

Equação de Gauss (equação dos pontos conjugados)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad \text{ou, ainda,} \quad f = \frac{p \cdot p'}{p + p'} \left\{ \begin{array}{l} \text{produto} \\ \text{soma} \end{array} \right\}$$

Aumento linear

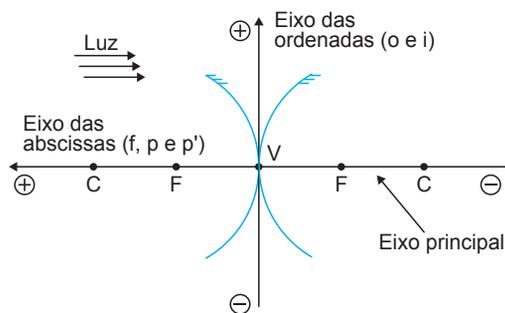
$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$

Convenção de sinais

Elementos (F, O, I)	Distância (f, p, p')
Real	+
Virtual	-

Elementos (O, I)	Altura (o, i)
Direita	+
Invertida	-

Obs.: referencial de Gauss: na verdade, **f, p, p', o e i** são coordenadas (de posição) e não distâncias, por isso os sinais.



Módulo 8. Leis da refração

1. Refração (mudança de meio óptico)

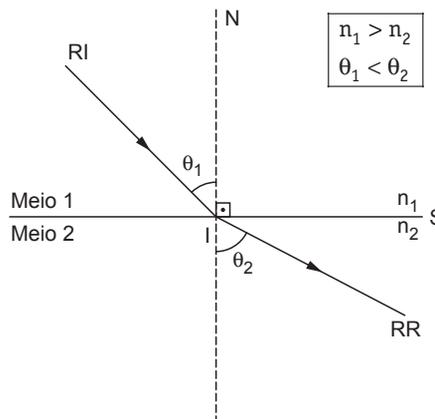
Obs.: o que caracteriza um meio óptico é a velocidade que a luz possui nele.

∴ na refração, ocorre mudança de velocidade.

2. Índice de refração

a) Absoluto (n_{MEIO})

$$n_{\text{MEIO}} = \frac{c}{v_{\text{MEIO}}} \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s (no vácuo)}$$



Obs.: $\begin{cases} v_{\text{MEIO}} \leq c \Rightarrow n_{\text{MEIO}} \geq 1 \\ v_{\text{AR}} \equiv c \Rightarrow n_{\text{AR}} \equiv 1 \end{cases}$

b) Relativo ($n_{1,2}$)

$$n_{1,2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_{1,2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

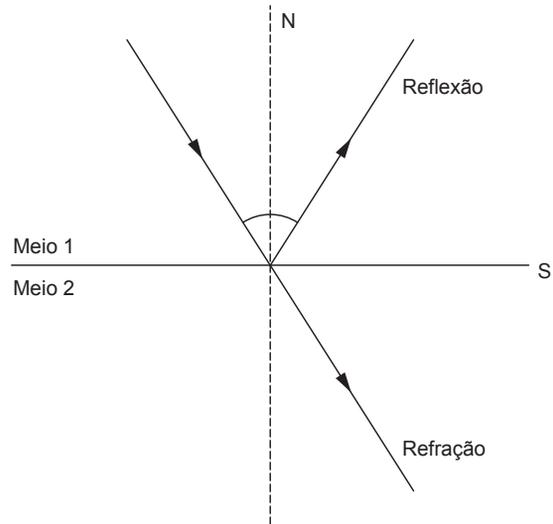
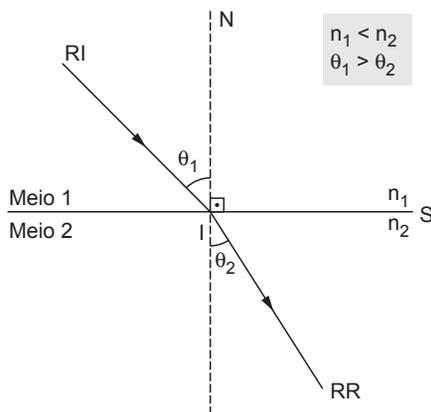
- 1) O raio incidente (RI), o raio refratado (RR) e a reta normal (N) são coplanares.
- 2) Os ângulos (θ_1) e (θ_2) relacionam-se entre si por:

$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_2 \quad (\text{Lei de Snell-Descartes})$$

Obs.: raios incidentes normais à superfície não sofrem desvio.

- A refração ocorre juntamente com uma reflexão.

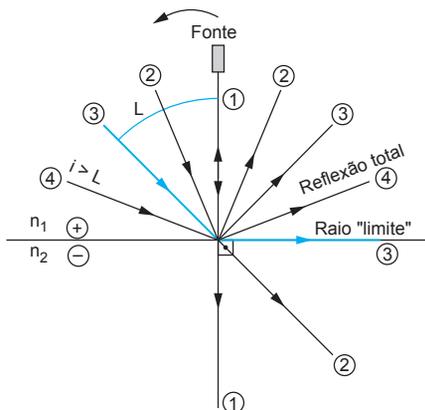
3. Leis da refração



Módulo 9. Ângulo-limite e reflexão total

Condições básicas para ocorrer reflexão total

- 1) A luz deve estar se propagando de um meio \oplus para outro \ominus refringente.
- 2) O ângulo de incidência deve superar um determinado ângulo-limite ($i > L$).



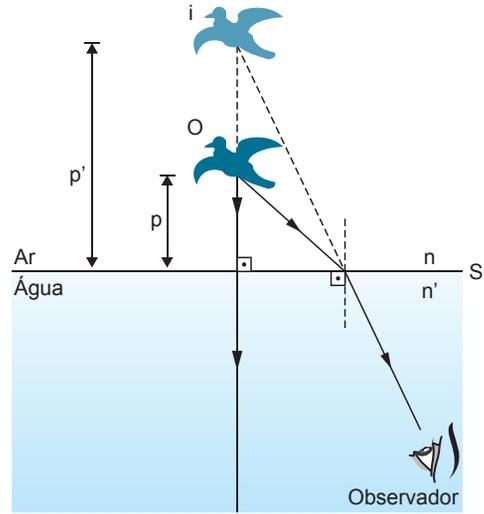
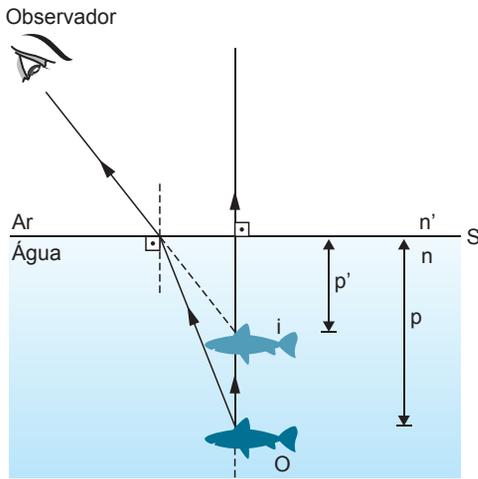
$$n_1 > n_2$$

Snell:

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

$$\text{sen } L = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_{\text{menor}}}{n_{\text{maior}}}$$

Módulo 10. Dioptros planos

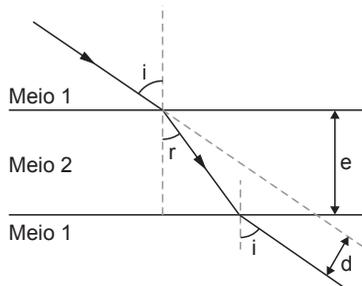


Para ângulos de incidência “pequenos”:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{p'}{p} = \frac{n'}{n} \end{array} \right\} \begin{array}{l} p': \text{distância da imagem ao dioptra} \\ p: \text{distância do objeto ao dioptra} \\ n': \text{(meio em que se encontra o observador)} \\ n: \text{(meio em que se encontra o objeto)} \end{array}$$

Módulo 11. Lâmina de faces paralelas

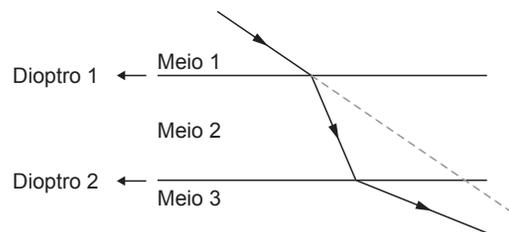
Meio óptico limitado por duas faces planas e paralelas



Deslocamento lateral (d)

$$d = \frac{e \cdot \sin(i - r)}{\cos r}$$

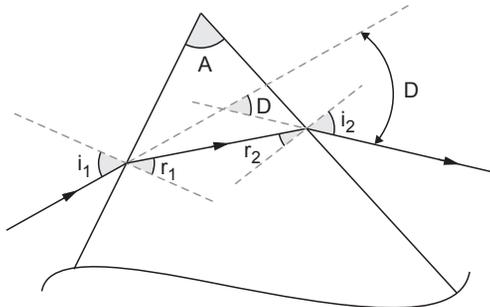
Obs.- No caso de o meio 3 não ser igual ao meio 1, os raios, incidente e emergente, não são paralelos.



Módulo 12 · Prismas

Meio óptico limitado por duas faces planas e não paralelas.

1. Desvio angular (D)



$$D = i_1 + i_2 - A$$

A: ângulo de abertura ou de refração

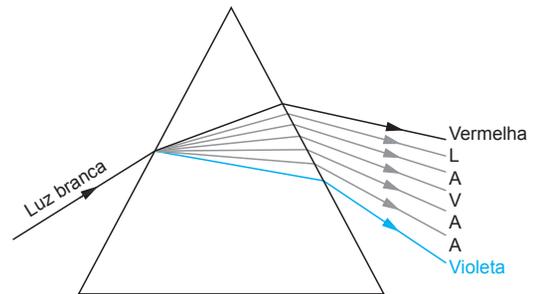
$$A = r_1 + r_2$$

2. Desvio mínimo ($D_{\text{mín.}}$)

Ocorre quando $i_1 = i_2$.

$$\begin{cases} i_1 = i_2 = i \\ r_1 = r_2 = r \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = 2r \\ D_{\text{mín.}} = 2(i - r) \end{cases}$$

3. Dispersão luminosa

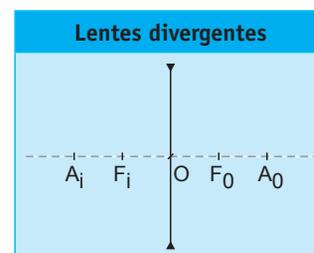
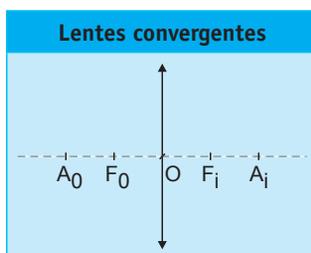


Módulo 13 · Lentes esféricas: propriedades

1. Nomenclatura e comportamento óptico

	Perfis e nomenclatura	Comportamento óptico	
		$n_{\text{lente}} > n_{\text{meio}}$	$n_{\text{lente}} < n_{\text{meio}}$
Bordas finas (convexas)	 Biconvexa Plano-convexa Côncavo-convexa	Convergente	Divergente
Bordas grossas (côncavas)	 Bicôncava Plano-côncava Convexo-côncava	Divergente	Convergente

2. Representação

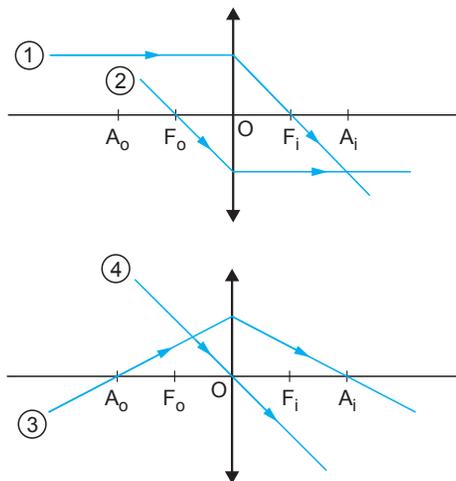


O : centro óptico
 F_0 : foco objeto; F_i : foco imagem
 A_0 : antiprincipal objeto; A_i : antiprincipal imagem

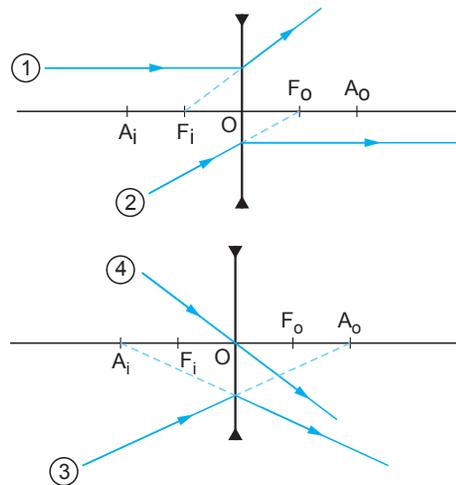
Módulo 14 · Lentes esféricas: imagens

1. Raios notáveis

a) Lente convergente



b) Lente divergente



2. Imagens (construção gráfica das imagens de objetos reais)

a) Lente convergente

I. Objeto antes do antiprincipal objeto A_0

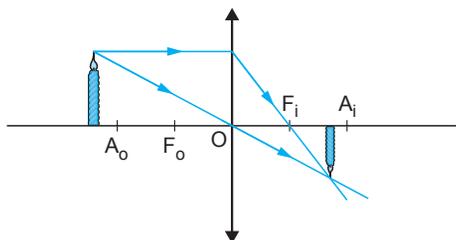


imagem {
real
invertida
menor

III. Objeto entre o antiprincipal objeto A_0 e o foco objeto F_0

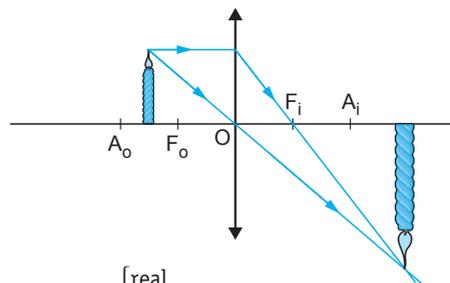


imagem {
real
invertida
maior

II. Objeto sobre o antiprincipal objeto A_0

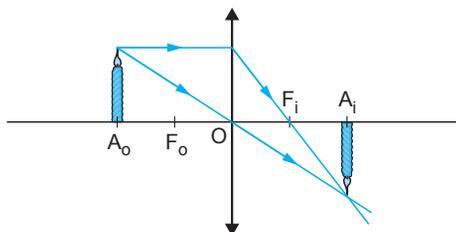


imagem {
real
invertida
"igual"

IV. Objeto sobre o foco objeto F_0

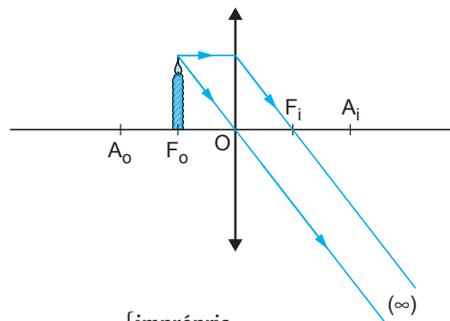


imagem {
imprópria
(∞)

V. Objeto entre o foco objeto F_o e o centro óptico O

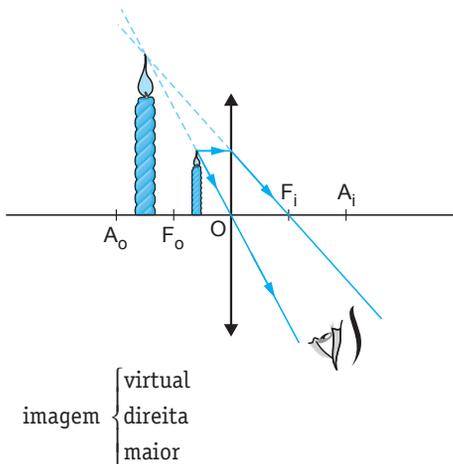


imagem $\left\{ \begin{array}{l} \text{virtual} \\ \text{direita} \\ \text{maior} \end{array} \right.$

b) Lente divergente: objeto em qualquer posição diante da lente

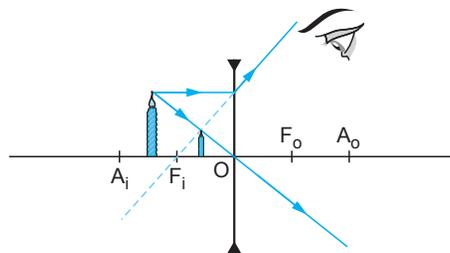


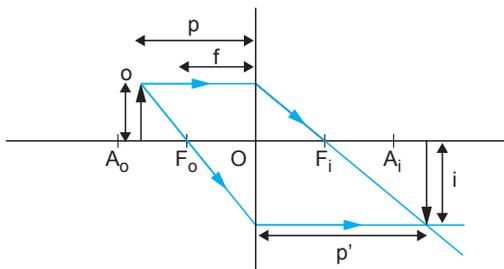
imagem $\left\{ \begin{array}{l} \text{virtual} \\ \text{direita} \\ \text{menor} \end{array} \right.$

Obs. - As imagens reais podem ser projetadas.

Módulo 15. Lentes esféricas: equações

Estudo analítico

Veja o exemplo a seguir:



f: distância focal

p: distância do objeto à lente

p': distância da imagem à lente

o: altura do objeto

i: altura da imagem

a) Equação de Gauss (equação dos pontos conjugados):

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad \text{ou, ainda,} \quad f = \frac{p \cdot p'}{p + p'} \left\{ \begin{array}{l} \text{produto} \\ \text{soma} \end{array} \right.$$

b) Aumento linear:

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

c) Vergência ou convergência da lente:

f: metro (m)

V: dioptria (di)

1 dioptria = 1 "grau"

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

1 di = $\frac{1}{m} = 1 \text{ m}^{-1}$

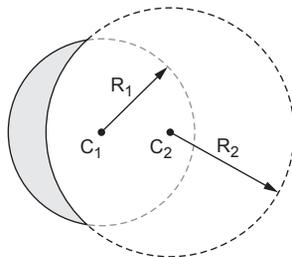
Convenção de sinais

Elemento (F, O, I)	Distância (f, p, p')
Real	+
Virtual	-

Elemento (O, I)	Altura (o, i)
↑	+
↓	-

Módulo 16 · Lentes esféricas: equação dos fabricantes

1. Equação dos fabricantes de lentes



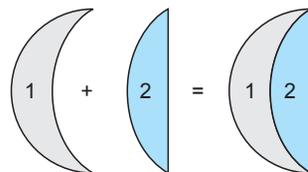
$$V = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{lente}}}{n_{\text{meio}}} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Convenção de sinais

Face	Raio (R)
Convexa	+
Côncava	-
Plana	∞

2. Justaposição de lentes

Do exemplo:



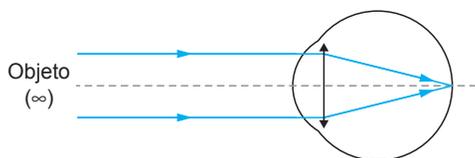
$$V_{\text{eq}} = V_1 + V_2 \Rightarrow \frac{1}{f_{\text{eq}}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

Obs.- Numa associação de lentes, sem justaposição, deve-se notar que a imagem fornecida pela primeira lente "se torna" objeto para a segunda lente.

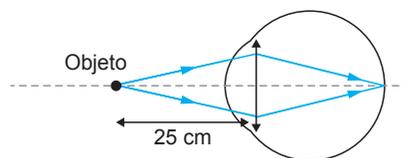
Módulo 17 · Óptica da visão

1. Olho emetropo (olho normal)

Ponto remoto (PR): infinito

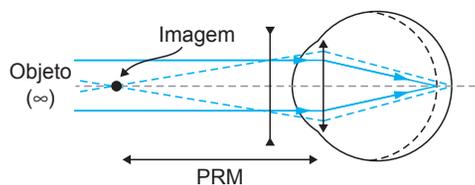


Ponto próximo (PP): 25 cm



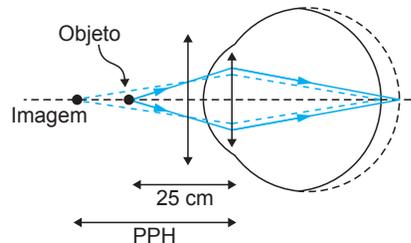
2. Ametropias principais

a) Miopia



$$V_{\text{lente}} = \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{-\text{PRM}} \Rightarrow V_{\text{lente}} = -\frac{1}{\text{PRM}}$$

b) Hipermetropia



$$V_{\text{lente}} = \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{0,25} + \frac{1}{-\text{PPH}} \Rightarrow V_{\text{lente}} = 4 - \frac{1}{\text{PPH}}$$

c) Presbiopia (vista cansada) - correção tal qual a de hipermetropia.

Módulo 18 · Introdução às ondas

1. Onda

Propagação de uma perturbação através de um meio.

Obs.- Numa onda, há o transporte de energia sem o transporte de matéria.

2. Classificação das ondas

2.1. Quanto à natureza

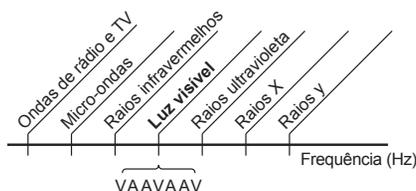
a) Ondas mecânicas:

Ondas que precisam de um meio material para se propagarem.

b) Ondas eletromagnéticas:

Não precisam de um meio material para sua propagação.

Obs.- Espectro eletromagnético:



2.2. Quanto à propagação

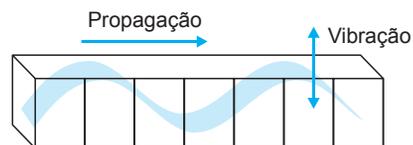
a) Ondas unidimensionais: propagação em uma linha.

b) Ondas bidimensionais: propagação em um plano.

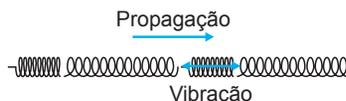
c) Ondas tridimensionais: propagação no espaço.

2.3. Quanto à vibração

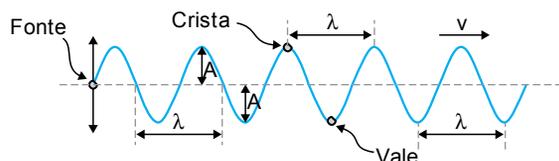
a) Onda transversal: Vibração \perp Propagação



b) Onda longitudinal: Vibração \parallel Propagação



Módulo 19 · Equação fundamental da Ondulatória



4. Comprimento de onda (λ)

Distância percorrida em 1 ciclo de onda

5. Velocidade da onda (v)

$$v = \lambda \cdot f \quad (\text{Equação fundamental da ondulatória})$$

Características básicas

1. Período (T)

Tempo gasto em 1 ciclo de onda

2. Frequência (f)

$$f = \frac{n^{\circ} \text{ ciclos}}{\Delta t} \Rightarrow f = \frac{1}{T}$$

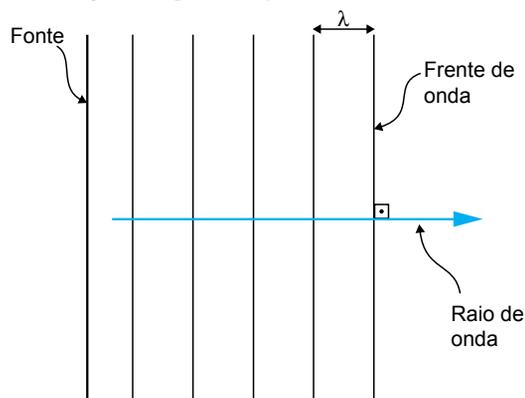
Importante - Período e frequência só dependem da fonte.

3. Amplitude (A)

Elongação máxima na oscilação

Importante - A velocidade de uma onda só depende do meio de propagação.

Observação - Representação de ondas bidimensionais:



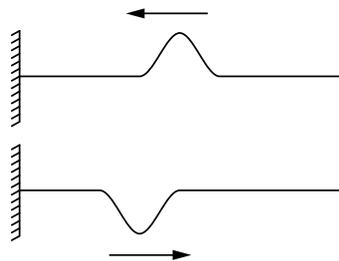
Módulo 20 · Ondas: reflexão, refração, difração e interferência

1. Reflexão

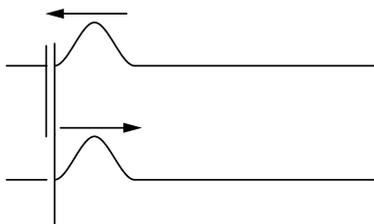
A onda retorna ao meio de origem e sua velocidade se mantém constante.

1.1. Ondas unidimensionais (reflexão de pulsos em cordas)

a) Extremidade fixa
(Ocorre inversão de fase.)

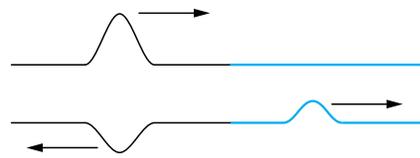


b) Extremidade livre
(Não ocorre inversão de fase.)

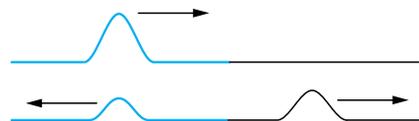


2.1. Ondas unidimensionais (refração de pulsos em cordas)

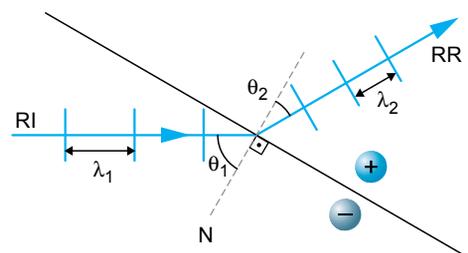
a) Da corda menos densa para a mais densa



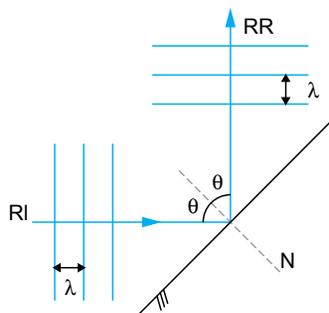
b) Da corda mais densa para a menos densa



2.2. Ondas bidimensionais (também válido para tridimensionais)



1.2. Ondas bidimensionais (também válido para tridimensionais)



1ª lei: RI, RR e N são coplanares.

2ª lei: $i = r = \theta$

2. Refração

A onda muda de meio de propagação. Daí, ocorre mudança de velocidade.

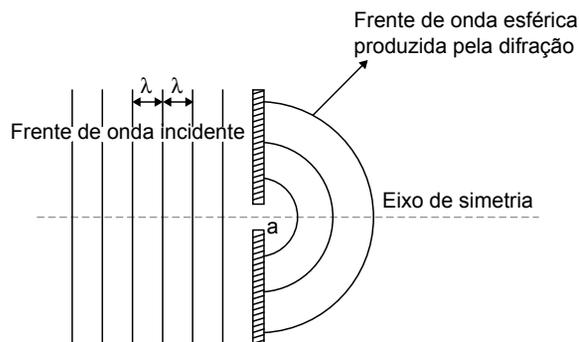
1ª lei: RI, RR e N são coplanares.

2ª lei: $n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$ e, conseqüentemente:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

3. Difração

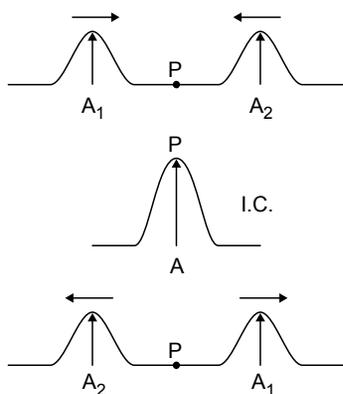
Contorno de fendas e/ou obstáculos



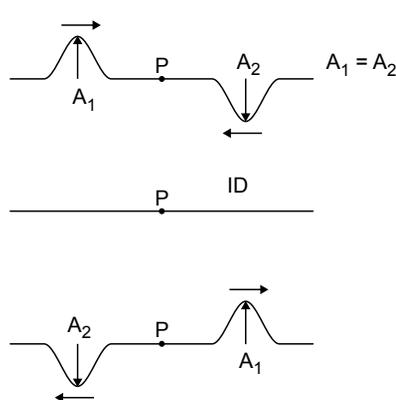
Módulo 21 · Ondas: interferência

1. Ondas unidimensionais (superposição de pulsos)

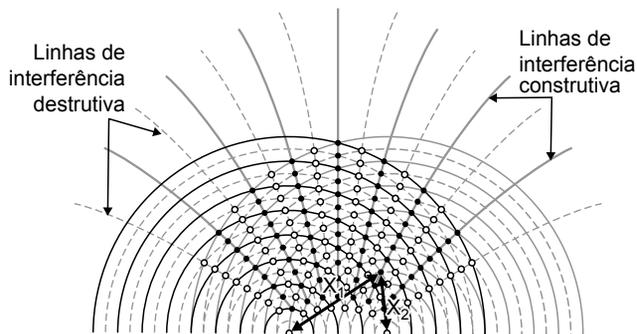
a) Interferência construtiva (IC)



b) Interferência destrutiva (ID)



2. Ondas bidimensionais (também válido para tridimensionais)



Diferença de percurso

$$\Delta x = |x_1 - x_2|$$

$$\Delta x = N \cdot \frac{\lambda}{2}$$

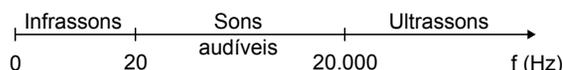
Fontes em fase
N par \Rightarrow IC

Módulo 22 · Ondas sonoras

1. Qualidades fisiológicas do som

1.1. Altura (associada à frequência do som)

Sons altos (agudos) \rightarrow frequências altas
Sons baixos (graves) \rightarrow frequências baixas
Obs. – Faixa de frequências:



1.2. Intensidade (I) (associada à amplitude da onda)

Sons fortes \rightarrow amplitudes altas
Sons fracos \rightarrow amplitudes baixas

$$I = \frac{P}{\text{área}} \quad \text{Unidade (I): } \frac{W}{m^2} \text{ (SI)}$$

Limite de audibilidade: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

Nível sonoro (N)

$$N = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}, \text{ dado em decibéis}$$

1.3. Timbre (associado à forma da onda – depende da fonte sonora)

Característica que permite distinguir dois sons de mesma altura e mesma intensidade, emitidos por instrumentos diferentes.

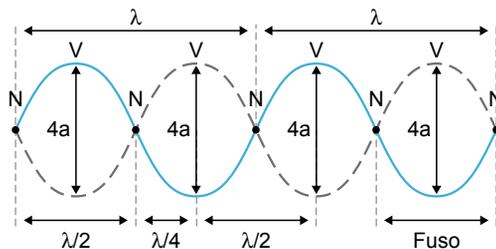
2. Persistência auditiva

O intervalo mínimo de recepção entre dois sons, necessário para que o ouvido humano possa distingui-los, é de 0,1 s.
Reforço: $\Delta t \approx 0$
Reverberação: $0 < \Delta t < 0,1 \text{ s}$
Eco: $\Delta t > 0,1 \text{ s}$

Módulo 23 · Ondas estacionárias e cordas vibrantes

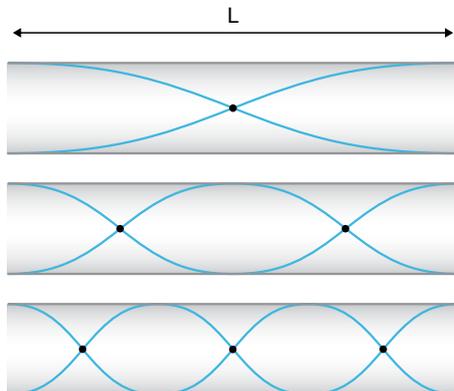
1. Ondas estacionárias

Resultantes da superposição de duas ondas iguais que se propagam em sentidos opostos, em um mesmo meio.



Módulo 24 · Tubos sonoros

1. Tubos abertos

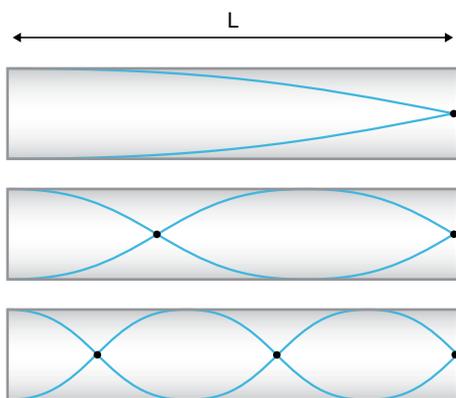


$$f_n = n \frac{v}{2L}$$

$$f_n = n \cdot f_1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

	L	λ	$f = \frac{v}{\lambda}$
1º modo de vibração	$1 \frac{\lambda}{2}$	2L	$1 \frac{v}{2L}$
2º modo de vibração	$2 \frac{\lambda}{2}$	$\frac{2L}{2}$	$2 \frac{v}{2L}$
3º modo de vibração	$3 \frac{\lambda}{2}$	$\frac{2L}{3}$	$3 \frac{v}{2L}$
n-ésimo modo de vibração	$n \frac{\lambda}{2}$	$\frac{2L}{n}$	$n \frac{v}{2L}$

2. Tubos fechados



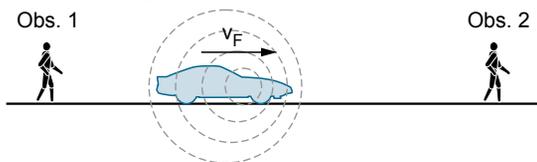
$$f_n = n \frac{v}{4L}$$

$$f_n = n \cdot f_1 \quad (n = 1, 3, 5, \dots)$$

	L	λ	$f = \frac{v}{\lambda}$
1º modo de vibração	$1 \frac{\lambda}{4}$	4L	$1 \frac{v}{4L}$
3º modo de vibração	$3 \frac{\lambda}{4}$	$\frac{4L}{3}$	$3 \frac{v}{4L}$
5º modo de vibração	$5 \frac{\lambda}{4}$	$\frac{4L}{5}$	$5 \frac{v}{4L}$
n-ésimo modo de vibração (n ímpar)	$n \frac{\lambda}{4}$	$\frac{4L}{n}$	$n \frac{v}{4L}$

Módulo 25 · Efeito Doppler

A frequência de uma onda só depende da fonte emissora e é, portanto, constante. Porém, se houver movimento relativo entre fonte e observador, este perceberá a onda com uma frequência diferente da real. Esse fenômeno é chamado de efeito Doppler.

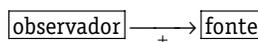


A frequência aparente (f_{ap}) é dada por:

$$f_{ap} = f_F \frac{v \pm v_O}{v \pm v_F}$$

f_F frequência real da onda
 v velocidade da onda
 v_O velocidade do observador
 v_F velocidade da fonte

Obs.: convenção de sinais



Módulo 26 · Movimento harmônico simples (I)

1. Definição

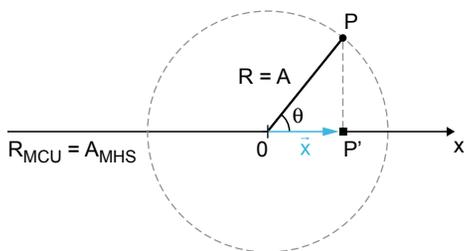
MHS {
 oscilatório
 periódico
 conservativo
 mantido por uma força restauradora

Obs.: o MHS pode ser estudado como a projeção de um MCU.

$$\text{MCU} \Rightarrow \theta = \theta_0 + \omega \cdot t$$

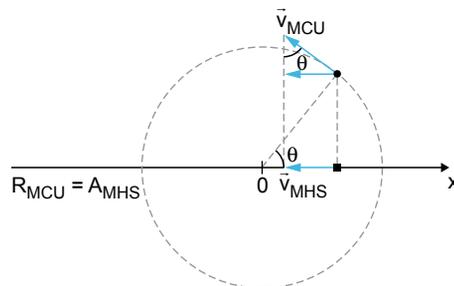
	MCU	MHS
θ (rad)	Deslocamento angular	Fase
ω (rad/s)	Velocidade angular	Pulsção ou frequência angular

2. Função horária da posição (ou alongação)



$$x = A \cdot \cos \theta \Rightarrow x = A \cdot \cos(\theta_0 + \omega \cdot t)$$

3. Função horária da velocidade

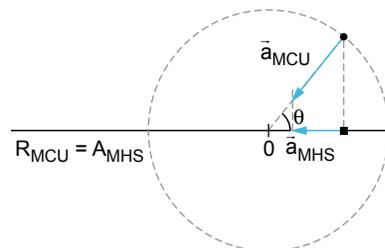


$$v_{MCU} = \omega \cdot R = \omega \cdot A$$

$$v_{MHS} = -v_{MCU} \cdot \sin \theta \Rightarrow v = -\omega \cdot A \cdot \sin(\theta_0 + \omega \cdot t)$$

Obs.: $|v_{m\acute{a}x.}| = \omega \cdot A$

4. Função horária da aceleração



$$a_{MHS} = -a_{MCU} \cdot \cos \theta \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} a = -\omega^2 \cdot A \cdot \cos(\theta_0 + \omega \cdot t)$$

$$a_{MCU} = a_c = \omega^2 \cdot A$$

Obs.: $|a_{m\acute{a}x.}| = \omega^2 \cdot A$ e $a = -\omega^2 \cdot x$

Módulo 27 · Movimento harmônico simples (II)

1. Energia cinética (E_c)

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

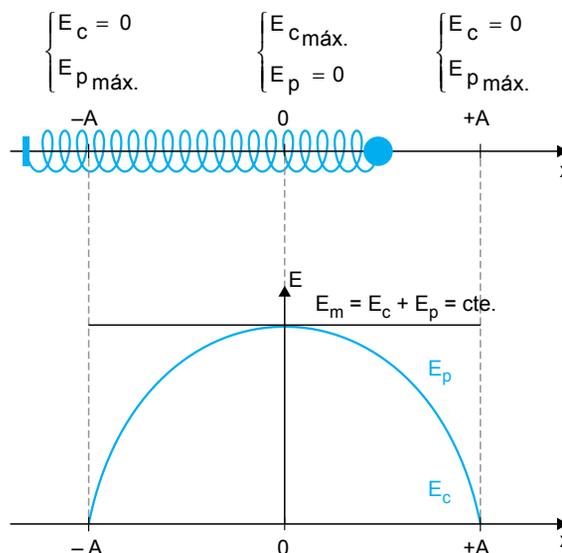
2. Energia potencial (E_p)

$$E_p = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

3. Energia mecânica (E_m)

$$E_m = E_c + E_p = \text{cte.} \begin{cases} \text{extremos} \Rightarrow E_m = E_{p\text{máx.}} = \frac{k \cdot A^2}{2} \\ \text{equilíbrio} \Rightarrow E_m = E_{c\text{máx.}} = \frac{m \cdot v_{\text{máx.}}^2}{2} \end{cases}$$

$$E_m = E_{p\text{máx.}} = E_{c\text{máx.}} = \frac{k \cdot A^2}{2}$$



Módulo 28 · Sistemas periódicos

1. Sistema massa-mola

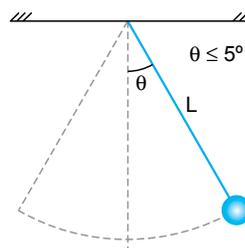


$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

m: massa do corpo

k: constante elástica da mola

2. Pêndulo simples



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

L: comprimento do fio

g: aceleração da gravidade

Módulo 29 · Análise dimensional

Grandezas básicas

Grandeza	Equação dimensional	Unidade SI
Massa	M	kg
Comprimento	L	m
Tempo	T	s
Temperatura	θ	K
Corrente elétrica	I	A

