

Física Aplicada

ENG. INFORMÁTICA
2020-2021

Ondas, som, rádio e luz

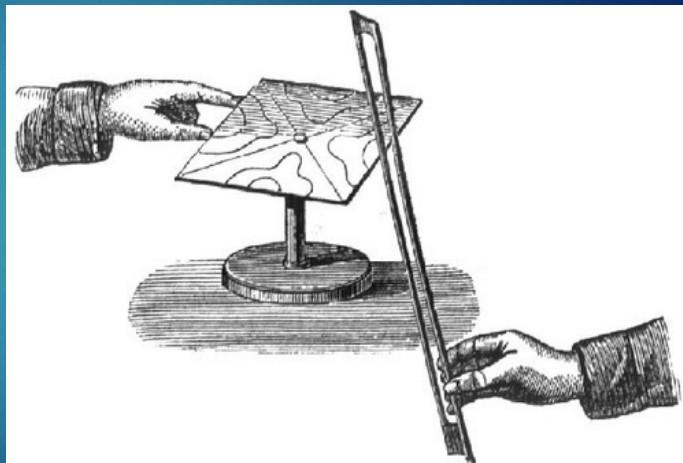
Temática 4

- ▶ Movimento harmónico simples.
- ▶ Movimento ondulatório.
- ▶ Ondas sonoras, eletromagnéticas. Espectro eletromagnético.
- ▶ Polarização.
- ▶ Natureza quântica da luz. Fótons.
- ▶ Absorção e emissão da luz. Propagação, reflexão e transmissão. Interferência.
- ▶ Transmissão na fibra ótica. Reflexão interna total. Comunicações óticas.
- ▶ Aplicações.

Efeito de ressonância

Onda estacionária em
ressonância

Frequência Natural



Ondas

As ondas encontram-se presentes na Natureza sob várias formas.

Podendo-se agrupar em dois grupos:

➤ **Ondas Eletromagnéticas**

Propagam-se através de campos elétricos e magnéticos (com direções perpendiculares) no vácuo e em (alguns) meios materiais (dependendo da radiação e do meio).

Ex: ondas rádio, TV, raios X, luz visível, infravermelho...

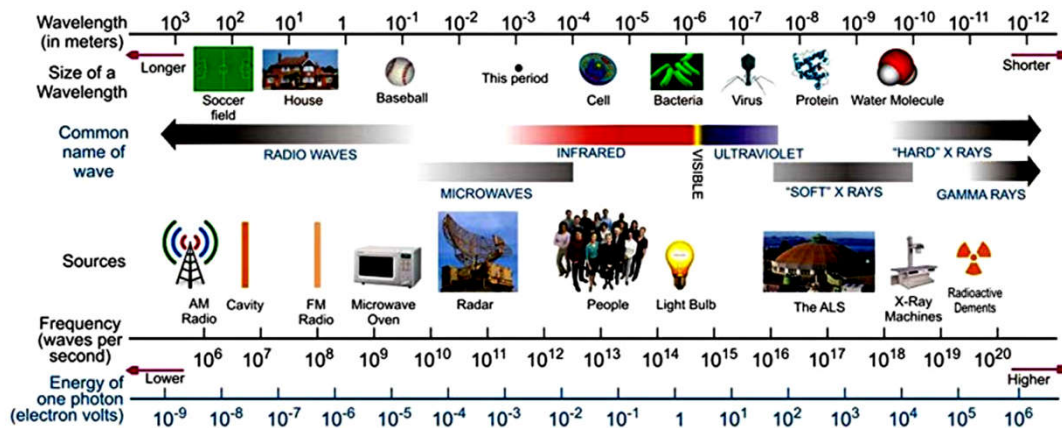
➤ **Ondas Mecânicas**

Propagam-se através de perturbações no meio, devido às suas propriedades elásticas.

Ex.: ondas sonoras, ondas em cordas ...

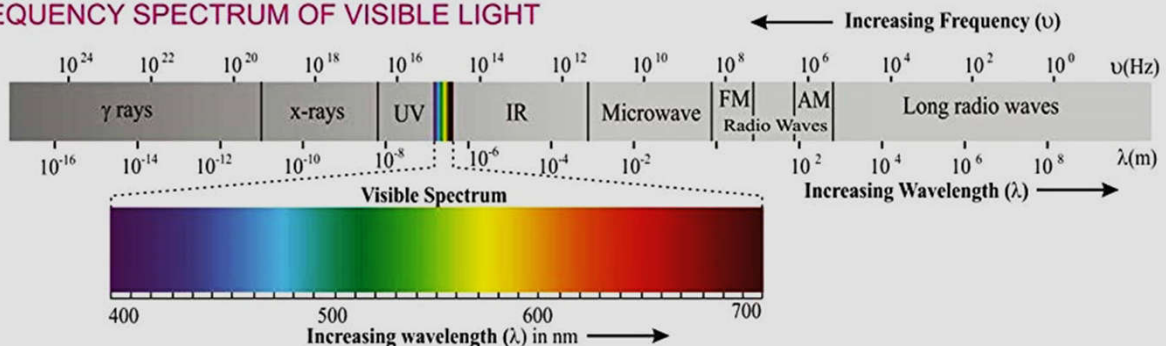
Ondas eletromagnéticas

THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

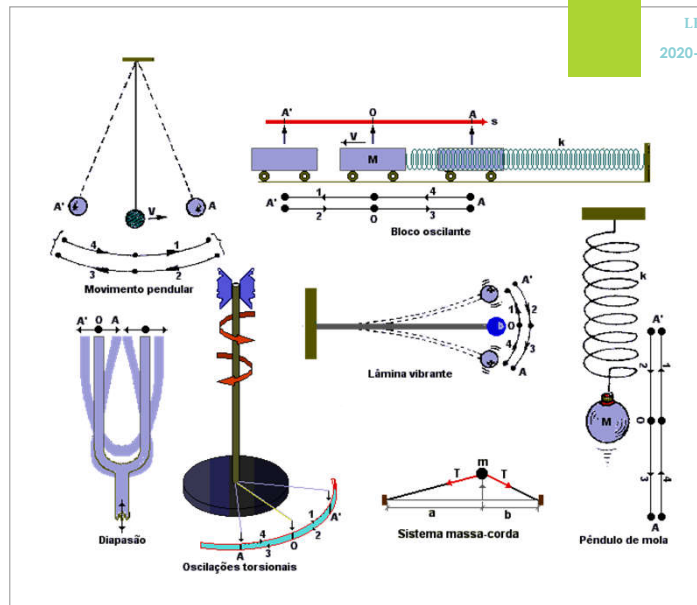


Ondas eletromagnéticas

FREQUENCY SPECTRUM OF VISIBLE LIGHT



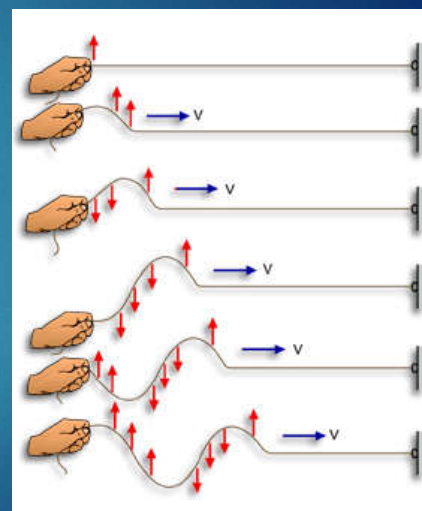
Ondas mecânicas



Onda transversal

A vibração do meio é perpendicular à direção de propagação.

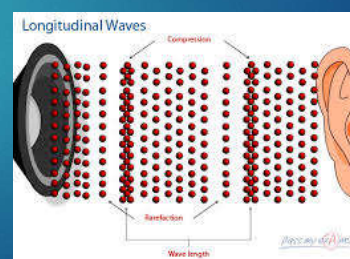
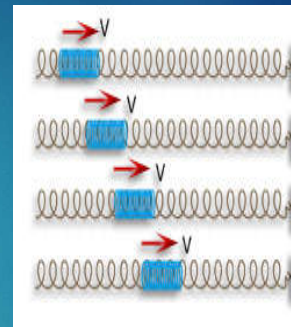
Exemplo: onda numa corda.



Onda longitudinal

A vibração do meio ocorre na mesma direção que a propagação.

Ex: ondas numa mola, ondas sonoras no ar.

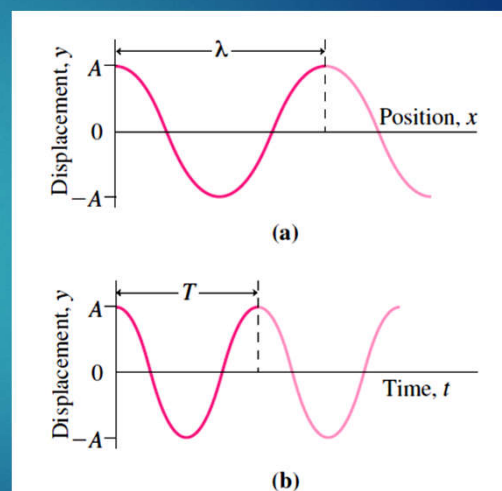


Onda harmónica ou sinusoidal

$$y(x, t) = A \sin(\omega t - kx)$$

Onde A é amplitude da onda,
 ω é a frequência angular, $\omega = 2\pi f$
e k o número de onda, $k = 2\pi/\lambda$

- (a) – o comprimento de onda, λ
(b) – o período, T



Onda harmónica ou sinusoidal

Comprimento de onda, λ

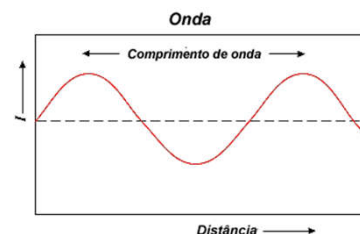
Distância entre duas cristas (máximos) e pode, de ondas circulares, ser descrito através da distância entre os círculos.

Frequência, f

Número de acontecimentos por intervalo de tempo, ou o inverso do tempo que uma partícula (do meio) demora entre uma crista e a seguinte (período, T).

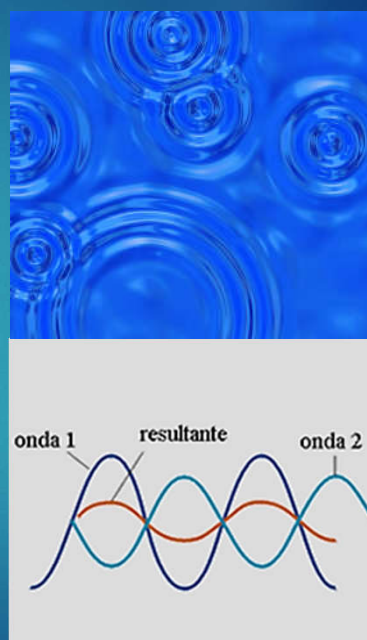
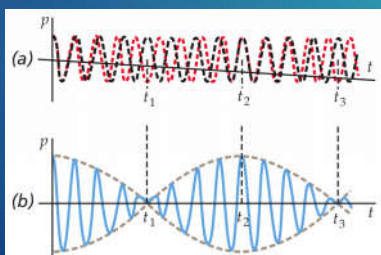
$$f = \frac{1}{T}$$

Unidade da frequência no SI é o Hertz (Hz)



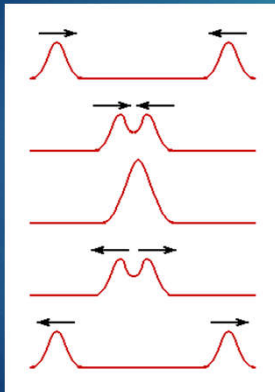
Sobreposição de ondas

Com frequência diferentes mas muito próximas



Sobreposição de Ondas - Interferência construtiva

Ondas com a mesma frequência



$$\phi_1 = A \sin(kx - \omega t)$$

$$\phi_2 = A \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 = A[\sin(kx - \omega t) + \sin(kx - \omega t + \varphi)]$$

$$= 2A \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \sin\left(kx - \omega t + \frac{\varphi}{2}\right)$$

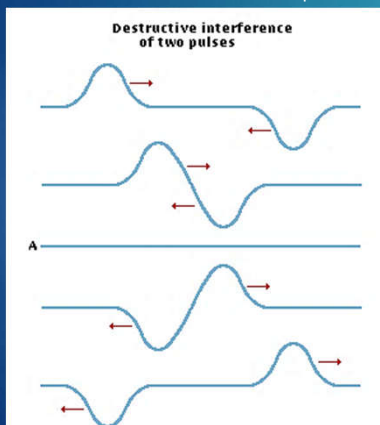
em fase : $\varphi = 0$

$$\Rightarrow \phi = 2A \sin(kx - \omega t)$$

A intensidade máxima duplica

Sobreposição de Ondas - Interferência destrutiva

Ondas com a mesma frequência



$$\phi_1 = A \sin(kx - \omega t)$$

$$\phi_2 = A \sin(kx - \omega t + \varphi)$$

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 = A[\sin(kx - \omega t) + \sin(kx - \omega t + \varphi)]$$

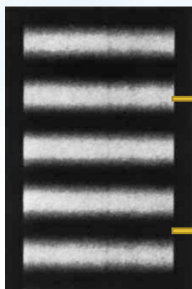
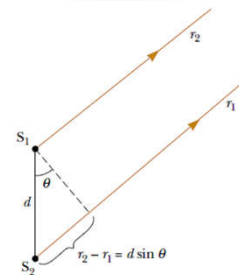
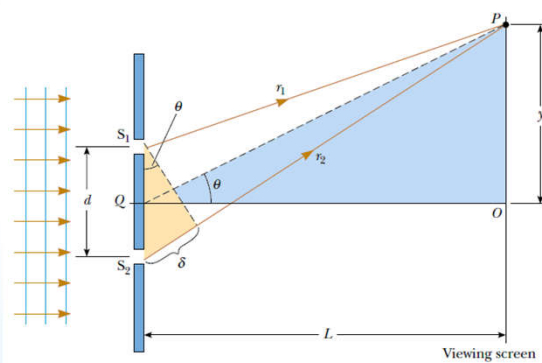
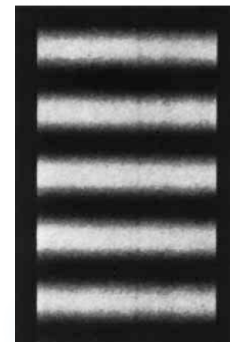
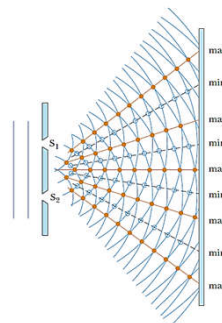
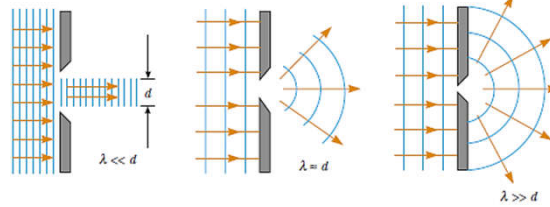
$$= 2A \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \sin\left(kx - \omega t + \frac{\varphi}{2}\right)$$

oposição de fase : $\varphi = \pi$

$$\Rightarrow \phi = 0$$

A onda anula-se

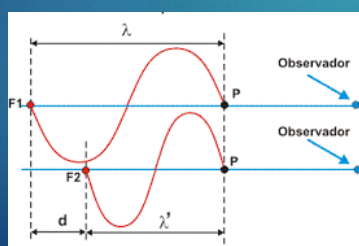
Comportamento das ondas



$$d \sin \theta_{\text{máximo}} = m \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

$$d \sin \theta_{\text{mínimo}} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Efeito Doppler



Fonte →	Observador ←	$f' = f \cdot \frac{V + v_O}{V - v_F}$
Fonte ←	Observador →	$f' = f \cdot \frac{V - v_O}{V + v_F}$
Fonte →	Observador →	$f' = f \cdot \frac{V - v_O}{V - v_F}$
Fonte ←	Observador ←	$f' = f \cdot \frac{V + v_O}{V + v_F}$

Onda eletromagnética

As ondas eletromagnéticas são geradas como uma consequência de dois efeitos:

- Campo magnético variável que produz um campo elétrico.
- Campo elétrico variável que produz um campo magnético.

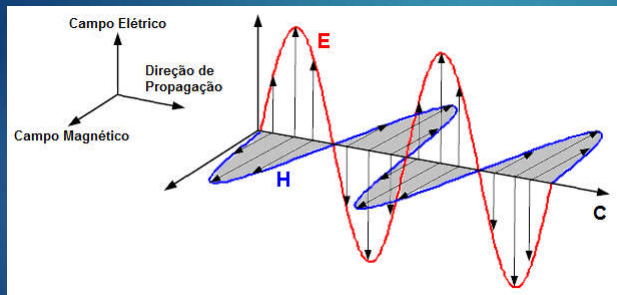


Cargas estacionárias e corrente constante não podem gerar ondas eletromagnéticas.



Sempre que a corrente num condutor se altera com o tempo, o condutor emite radiação eletromagnética.

Onda eletromagnética



O E e o B , são componentes das ondas planas eletromagnéticas, são perpendiculares um ao outro e perpendiculares à direção de propagação da onda.

- São ondas transversais.

- Obedecem ao princípio da sobreposição.

$$\vec{E} = E_m \sin(\omega t - kx)$$

$$\vec{B} = B_m \sin(\omega t - kx)$$

$$\frac{E_m}{B_m} = c$$

Onda eletromagnética

Velocidade de propagação da onda, frequência angular, número de onda e valores máximos dos campos

$$c = \lambda f$$

$$\omega = 2\pi f; \quad f = 1/T \quad \longrightarrow \quad \omega = 2\pi/T$$

$$k = 2\pi/\lambda$$

v ou c dependendo do meio de propagação

$c \rightarrow$ velocidade da luz no vácuo

$$\vec{E} = E_m \sin(\omega t - kx)$$

$$\vec{B} = B_m \sin(\omega t - kx)$$

$$c = \frac{E_{\max}}{B_{\max}}$$

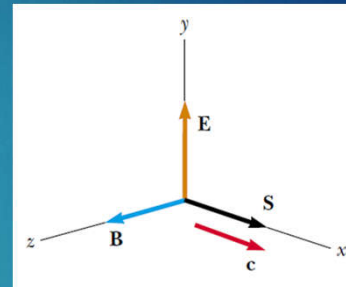
A energia transportada (transferida) por uma onda eletromagnética

Vector Poynting

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$$

As unidades do vector de Poynting no SI são:

$$\text{J/s} \cdot \text{m}^2 = \text{W/m}^2$$



Ao longo do tempo, *intensidade da onda*:
 $I = \text{médica do vector Poynting}$

Para um instante preciso:

$$S = \frac{EB}{\mu_0}$$

$$S = \frac{E^2}{\mu_0 c} = \frac{c}{\mu_0} B^2$$

$$I = S_{\text{médica}} = \frac{E_m B_m}{2\mu_0} = \frac{E_m^2}{2\mu_0 c} = \frac{c}{2\mu_0} B_m^2$$

Intensidade da onda eletromagnética

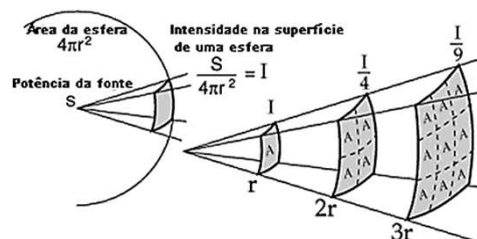
$$I = \frac{P_{\text{médica}}}{\text{área}} = \frac{\text{energia}}{\text{tempo} \times \text{área}}$$

$$I = \frac{P_{\text{médica}}}{4\pi r^2}$$

- $P_{\text{médica}}$, é a potencia média fornecida por uma fonte,
- $4\pi r^2$, é a área de uma esfera de raio r , centrada na fonte

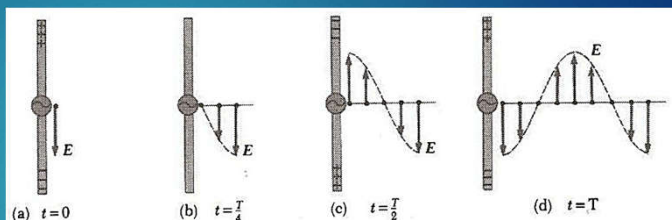
$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ TmA}^{-1}$$



Criação de ondas eletromagnéticas numa antena

Duas hastes metálicas estão ligadas a um gerador de corrente alternada sinusoidal, o que provoca a oscilação das cargas entre as duas hastes.

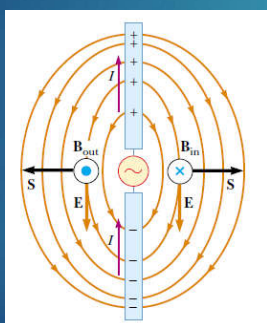


Produção de uma onda eletromagnética pelas cargas elétricas oscilantes de uma antena, devido à fonte de corrente alternada. O campo afasta-se da antena à velocidade da luz.

Há também um campo magnético a ser produzido, que oscila perpendicularmente ao plano da figura e que acompanha o campo elétrico, (mas não é representado para não sobrecarregar a figura)

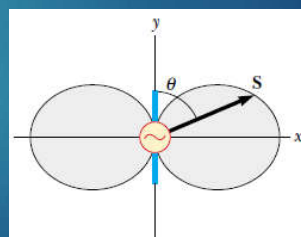
O diagrama mostra as linhas de campo elétrico (E) e magnético (B), no instante em que a corrente tem o sentido de baixo para cima.

Estas hastes têm de comprimento $\frac{1}{4}$ do c.d.o., cada.

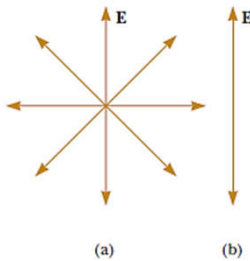


Dependência angular da intensidade da radiação (ou da potência por unidade de área) para um dipolo oscilante.

A distância da origem a um ponto extremo da figura é proporcional à intensidade da radiação.

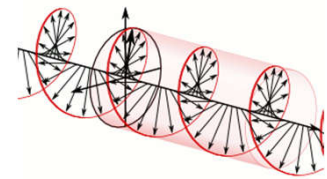
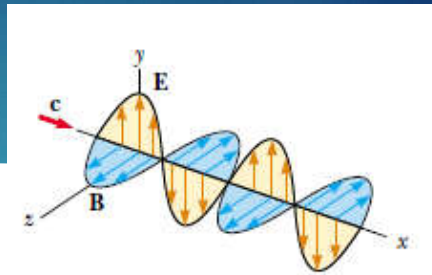


Polarização de ondas

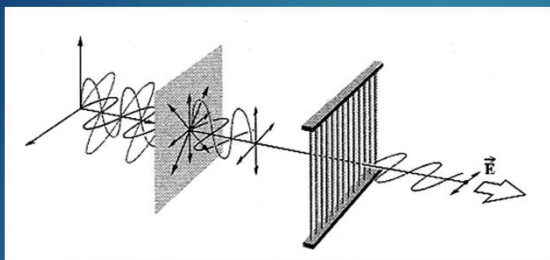


(a) Feixe não polarizado

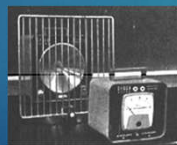
(b) Feixe linearmente polarizado, com o vetor campo elétrico a vibrar na vertical.



Criar uma onda polarizada



A componente do campo elétrico paralela à direção da polarização é que é transmitida pelo filtro



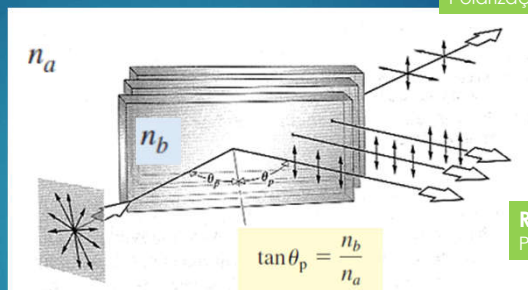
Polarização horizontal



Polarização vertical

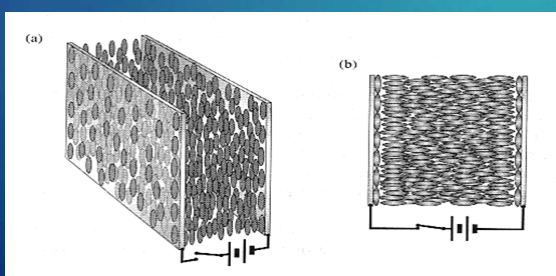
Polarização...

Quando a onda incide numa superfície a um ângulo específico – **Ângulo de Brewster**



Transmitida
Polarização horizontal

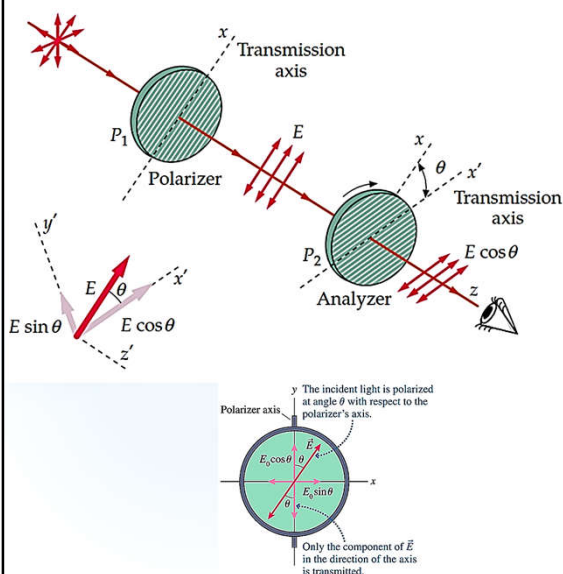
Reflectida
Polarização vertical



Monitores
de cristais líquidos

Campo elétrico altera a orientação média das moléculas, rodando-as e alinhando-as com o campo

Intensidade da Luz Transmitida



► Luz não polarizada : (regra da metade)

► $I = \frac{I_0}{2}$

► Luz polarizada : Lei de Malus

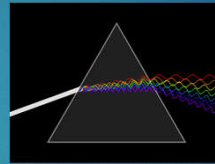
► $I = I_0 \cos^2 \theta$

Comportamento dual da Luz:

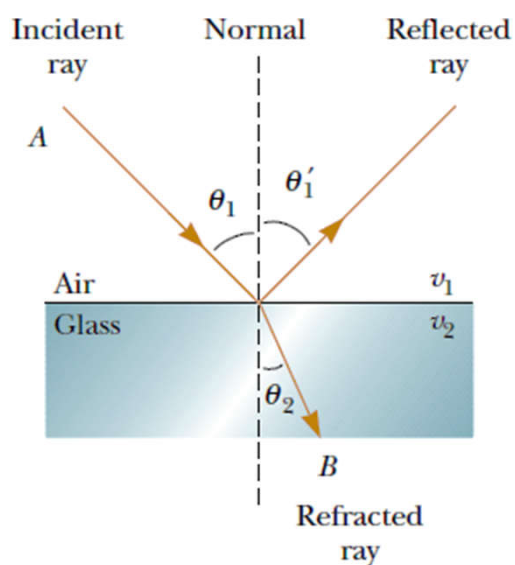
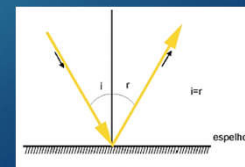
- comportamento de onda

- comportamento de partícula

Comportamento de onda,
- interferência e sobreposição
- difusão, difração



Comportamento de partícula,
- reflexão,
- "bola de bilhar"



Leis de reflexão e da refração

Lei da reflexão

$$\theta'_1 = \theta_1$$

Refração

Quando a luz passa de um meio para outro:

- A sua velocidade altera-se
- Os raios refratados são desviados

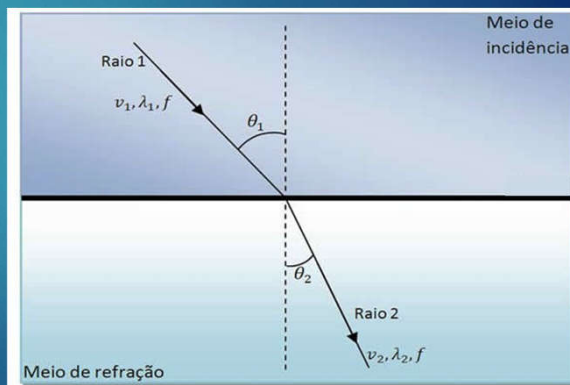
Lei de Snell

O ângulo de refração depende das propriedades dos dois meios e do ângulo de incidência:

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \text{constante}$$

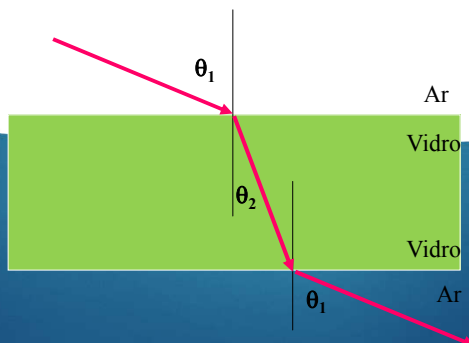
v_1 = Velocidade da onda no meio 1

v_2 = Velocidade da onda no meio 2



Consequência da Lei de Snell

- Quando a luz passa de um meio com índice de refração **menor** para um meio com um índice de refração **maior**, os raios refractados **aproximam-se da normal**.
- Quando a luz passa de um meio com índice de refração **maior** para um meio com um índice de refração **menor**, os raios refractados **afastam-se da normal**.



Num meio qualquer, a luz propaga-se com uma velocidade inferior a c .

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

Sabe-se que, para qualquer onda: $v = f\lambda$

n = Índice de refração do meio ($n > 1$)

v = Velocidade da luz no meio

C = Velocidade da luz no vácuo

v = velocidade de propagação

f = frequência

λ = Comprimento de onda

A frequência da onda é a mesma nos dois meios.

Então:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_1 = f\lambda_1 ; v_2 = f\lambda_2 \\ v_1 = c/n_1 ; v_2 = c/n_2 \end{array} \right.$$



$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2$$

Lei de Snell

$$\lambda_1 n_1 = \lambda_2 n_2$$

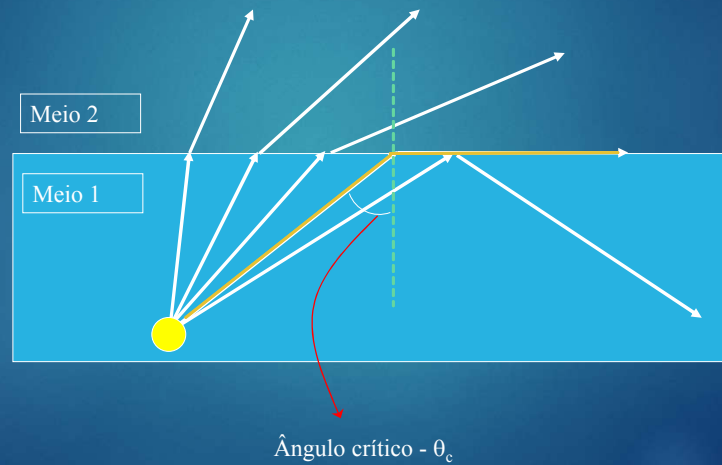
juntamente com:

$$\frac{\sin \theta_t}{\sin \theta_i} = \frac{v_2}{v_1}$$

Resulta :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Reflexão interna total



Utiliza-se a Lei de Snell para calcular θ_c

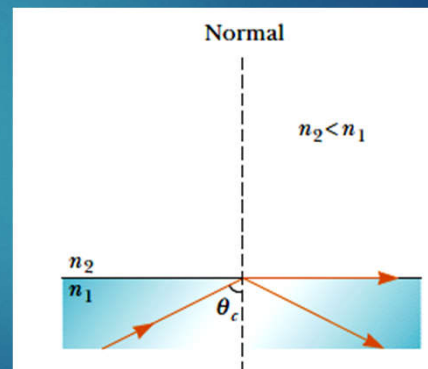
Quando $\theta_i = \theta_c$, $\theta_t = 90^\circ$

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \underbrace{\sin 90^\circ}_1 = n_2$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

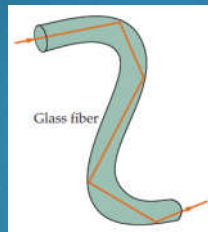
$$\theta_c = \sin^{-1} (n_2/n_1)$$

Válido para: $n_1 > n_2$

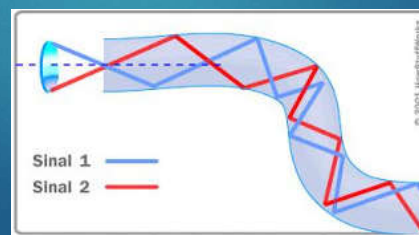


Aplicações baseadas na reflexão interna total

Fibras ópticas

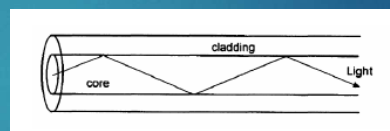
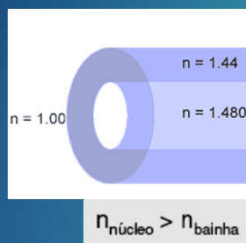


Fibras ópticas utilizadas em telecomunicações, e instrumentos médicos (sondas) em cirurgia não invasiva.



Propagação na fibra óptica

A propagação no interior de uma fibra óptica é feita por reflexão interna total na interface entre o núcleo e a bainha, ambos de silício mas com índices de refração diferentes:



Abertura numérica

$$A.N. = \sin \phi = \sqrt{n_{\text{núcleo}}^2 - n_{\text{bainha}}^2}$$



Tipos de fibra

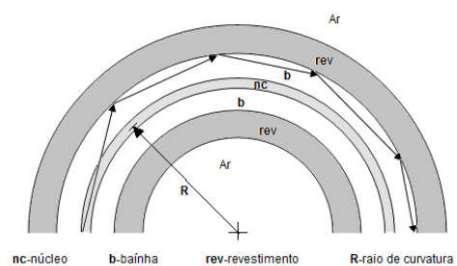
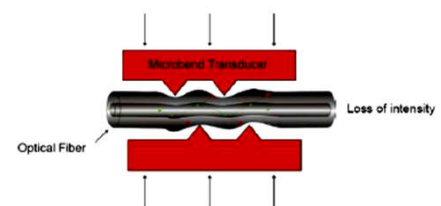


Porquê fibra óptica?

- Isolamento eléctrico
- Imunidade a interferências electromagnética
- Imunes a ambientes químicos adversos
- Possibilidade de transmissão dos dados a alta velocidade e a longa distância.
- Multiplexagem de sinais
- Elevada sensibilidade

Dispersão numa fibra ...

Utilizada como sensores de pressão



Bibliografia

"Physics for Scientists and Engineers", Raymond A. Serway,
John W. Jewett, 6th Edition
ISBN: 0534408427

"Fundamentals of Physics", D. Halliday, R. Resnick, J. Walker
John Wiley, 8th ed.

" Physics for Scientists and Engineers ", Paul A. Tipler,
Gene Mosca.