

Ondas luminosas

74

- * Antes do século 19 - teoria de Newton \Rightarrow luz \equiv corrente de partículas
(Teoria corpuscular)
Optica (1704)
- * 1678 - teoria de Huygens \Rightarrow luz \equiv onda
(Teoria ondulatória)
- * 1801 - Thomas Young \Rightarrow interferência (n̄ explicada pela teoria corpuscular)
- * Mais alguns anos - Fresnel \Rightarrow experiências de interferência e difração.
- * 1850 - Foucault \Rightarrow velocidade de luz nos líquidos $<$ velocidade de luz no ar
(n̄ explicada pela teoria corpuscular)
- * + outros desenvolvimentos \Rightarrow Início do século 19 \Rightarrow Teoria Ondulatória foi aceita
- * 1873 - Maxwell \Rightarrow luz \equiv onda eletromagnética com frequência elevada $c = v = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- * 1877 - Hertz \Rightarrow confirmou experimentalmente a teoria de Maxwell (mediu ondas eletromagnéticas)
- * outros pesquisadores \Rightarrow refração, reflexão, interferência, difração e polarização
(ondas)

* Teoria ondulatória + Teoria corpuscular

fóton = características ondulatórias pois sua energia é determinada pela frequência (f)
 $E = hf$

fóton = uma partícula que interage com e^- (e^- como atingido por 1 partícula)

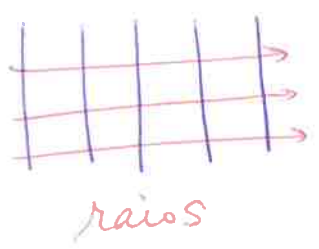
* A luz tem dupla natureza, age como se fosse onda (interferência) e partícula (efeito fotoelétrico)

* Aproximação retilínea de óptica geométrica

\vec{k} (direção do fluxo de energia da onda)

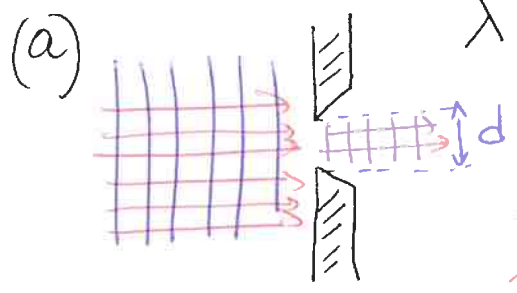
raio de luz

onda plana



raios são \perp às frentes de onda
Raios: reta traçada na direção de propagação da luz

* O que acontece com a luz quando encontra 1 obstáculo?

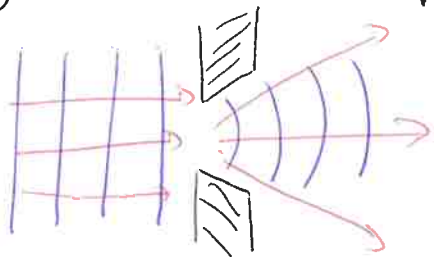


$\lambda \ll d$ (orifício)

quase não há difração observável e a aproximação retilínea é válida (boa para o estudo de espelhos,

lentes, prismas, telescópios, máquinas fotográficas, óculos)

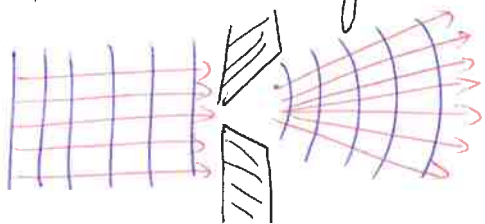
(b) $\lambda \approx d$ (orifício)



a difração se torna significativa

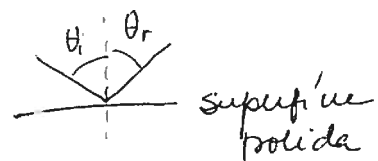
(a onda se espalha depois da abertura em todas as direções)

(c) $\lambda \gg d$ (orifício)

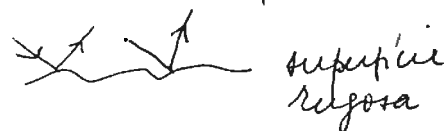


a abertura se comporta como se fosse uma fonte pontual emitindo ondas esféricas

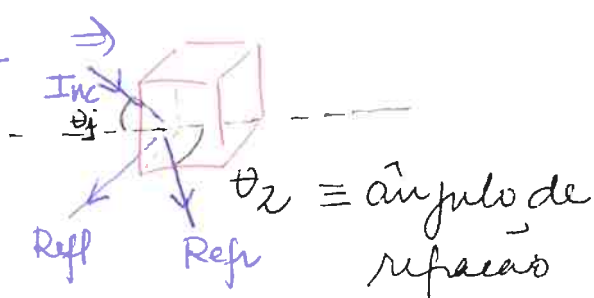
* Reflexão \Rightarrow especular ($\theta_i = \theta_r$)



difusa ($\theta_i \neq \theta_r$)



* Refração



Lei de Snell
(descoberta experimental)

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

A velocidade da luz muda no meio.

Ar $\sim 3 \times 10^8$ m/s

A frequência da luz na muda

vidro $\sim 2 \times 10^8$ m/s

Muda v e λ : $v = \lambda f$

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{v_2/c}{v_1/c} = \frac{1/n_2}{1/n_1} \Rightarrow \underline{n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2}$$

$$\text{onde } n_i = \frac{c}{v_i} > 1 \Rightarrow n_i = \frac{\lambda_0}{\lambda_i}$$

índice de refração

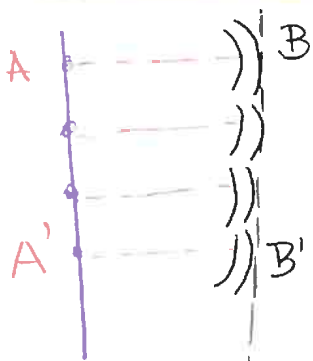
Princípios de Huygens

* Método geométrico proposto em 1678 \Rightarrow demonstração das leis da reflexão e refração.

Huygens \rightarrow luz \equiv ondas (nas condições o caráter eletromagnético da luz)

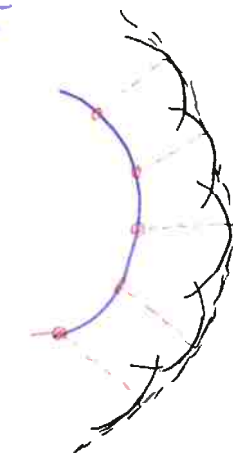
Conhecendo-se a posição de uma frente de onda anterior pode-se determinar sua posição num certo instante posterior. Todos os pontos de uma frente de onda são fontes pontiformes de ondas esféricas secundárias, que se propagam para frente com a velocidade da onda no meio. Depois de um Δt , a nova posição de frente de onda é a superfície tangente a todas essas pequenas ondas.

Frente de onda primitiva



nova frente de onda

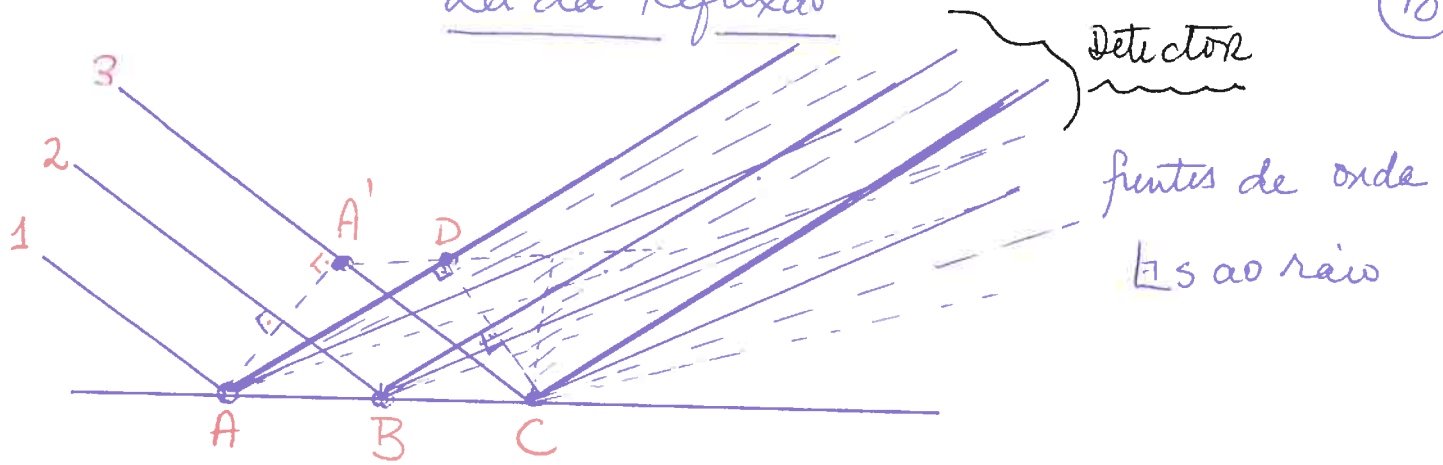
superfície sobre a qual a onda é um máximo (crista)



nova frente de onda

infinitos pontos superfície circular de frente de onda

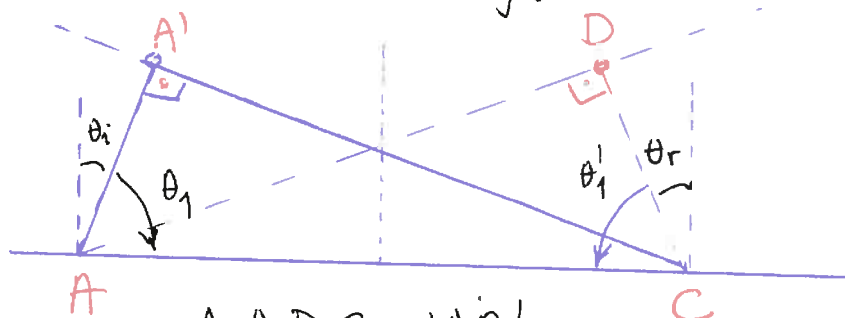
Lei da Reflexão



* Raio 3 avança $A'C \Rightarrow$ Raio 1 no mesmo meio reflete em A e cria uma onda esférica de raio AD.

* As ondas $A'C$ e AD como estas no mesmo meio, possuem a mesma velocidade v .

* Raio da onda secundária de Huygens = vt



ΔADC e $\Delta AA'C$ são congruentes

mesma hipotenusa AC e lado $AC =$ lado AD

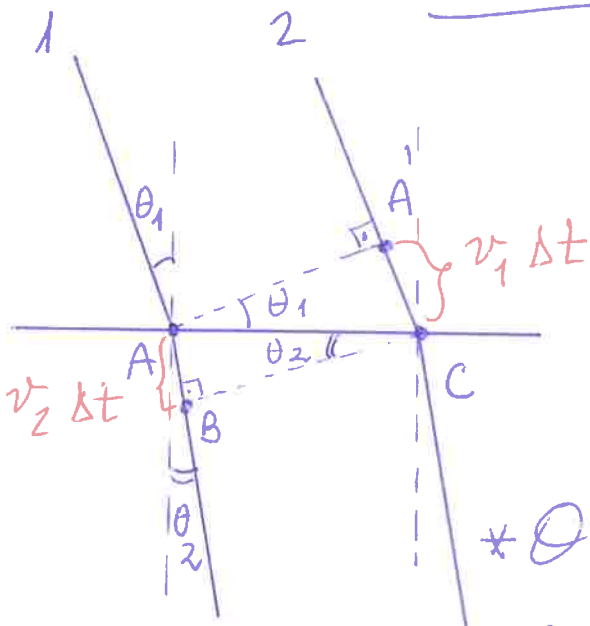
$$\text{Sen } \theta_1 = \frac{A'C}{AC} \quad \text{e} \quad \text{sen } \theta_1' = \frac{AD}{AC} \Rightarrow \theta_1 = \theta_1'$$

$$\cancel{\theta_1} + \theta_i = 90^\circ = \theta_r + \cancel{\theta_1'} \Rightarrow \boxed{\theta_i = \theta_r} \quad \text{Lei da Reflexão}$$

* Pode-se também mostrar que esses ângulos possuem lados mutuamente perpendiculares

e portanto $\boxed{\theta_i = \theta_r}$ Lei da Reflexão

Lei da Refracção (Lei de Snell) (79)



No intervalo de tempo Δt

o raio 1 se desloca AB

o raio 2 se desloca $A'C$

* O raio de onda esférica centrado em A

$$AB = v_2 \Delta t$$

* A distância $A'C = v_1 \Delta t$

$$\theta_1 = \widehat{A'AC}$$

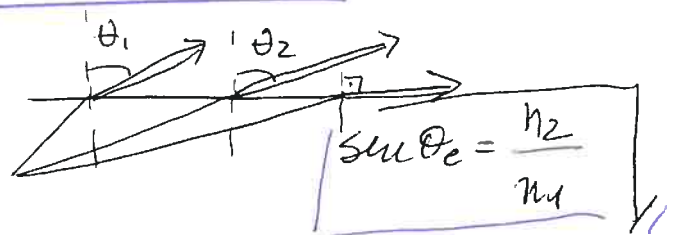
$$\theta_2 = \widehat{ACB}$$

$$\text{sen } \theta_1 = \frac{v_1 \Delta t}{AC} \quad \text{e} \quad \text{sen } \theta_2 = \frac{v_2 \Delta t}{AB}$$

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1 / c}{v_2 / c} = \frac{1/n_1}{1/n_2} = n_2 / n_1$$

$$\boxed{n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2}$$

Reflexão total interna
(guias de onda)



Princípio de Fermat : A luz se propaga entre 2 pontos (P e Q) seguindo a trajetória em que o tempo é mínimo (P e Q)
Obtém-se a Lei de Snell.

Interferência de ondas

80

* iremos tomar como base a experiência de Thomas Young fenda com luz (1801 ou 1802!)

* $\lambda \approx d \Rightarrow$ difracção e $\lambda \gg d \Rightarrow$ fontes pontiformes

* Condições para ocorrer interferência:

- 1) As fontes devem ser coerentes \Rightarrow manter a fase constante uma em relação à outra.
- 2) As fontes devem ser monocromáticas \Rightarrow emitir um único λ .
- 3) Princípio da superposição deve ser aplicável.

* Fontes coerentes: Método simples \Rightarrow uma única fonte de luz monocromática que ilumina um anteparo com 2 aberturas pequenas separa-se o feixe em 2 partes

* Experiência da fenda dupla de Young

$S_0 \equiv$ fenda estreita; S_1 e $S_2 \equiv$ agem como fontes coerentes

- Aparecem franjas de interferência

Construtiva \Rightarrow brilhante
Destrutiva \Rightarrow escura } $\textcircled{T_1}$

- * Quando atingem o anteparo em fase (constitutiva)
- * Quando atingem o anteparo fora de fase (destrutiva)

T2



- * Relações quantitativas da experiência de Young:

Diferença de percurso = $r_{12} = r_1 - r_2 = d \text{sen} \theta$

r_1 e $r_2 \approx$ paralelos \Rightarrow isso ocorre quando $d \ll l$

- * A diferença de percurso irá determinar se as ondas estarão em fase ou não.

- * A interferência é constitutiva quando:

$r_{12} = d \text{sen} \theta = m \lambda$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$)

T3

$m \equiv$ ordem da franja

$m = \pm 1$ (máximo de 1ª ordem)

$m = \pm 2$ (" " 2ª ")

- * A interferência é destrutiva quando:

$r_{12} = d \text{sen} \theta = (m + \frac{1}{2}) \lambda$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$)
 múltiplo ímpar de $\lambda/2$

- * Em geral $L \gg d$ e $d \gg \lambda$ ($L = 1m$, $d \approx 1mm$ e $\lambda \equiv$ faixas de microns)