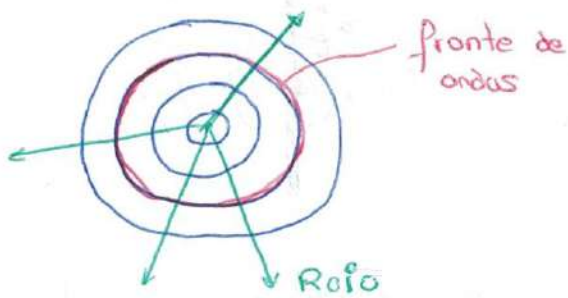


# FENÓMENOS ONDULATORIOS

## 1. PRINCÍPIO DE HUYGENS (1678)

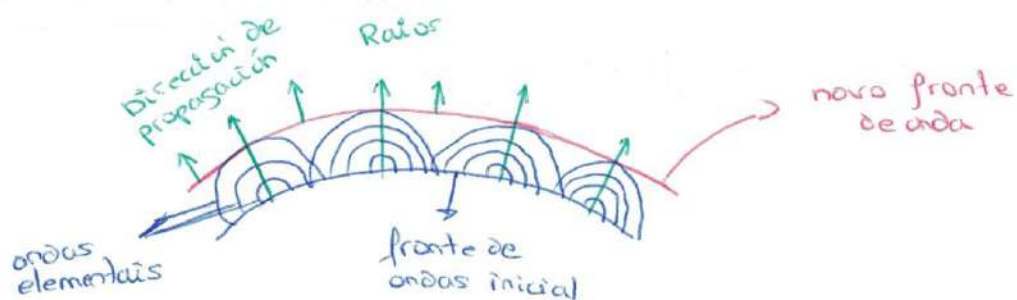
Com o fim de sustentar o modelo ondulatório da luz, construiu um método que lhe permitiu explicar a propagação de todo tipo de ondas.

Para explicar a propagação das ondas resulta de gran ajuda a ideia de fronte de ondas como lugar geométrico que une todos os pontos, que num instante dado se atopou eu fase.



O raio é uma ferramenta que consiste numa linha recta perpendicular a superfície do frente de ondas e que indica a direcção de propagação do movimento ondulatório.

Segundo o princípio de Huygens, todo ponto numa frente de ondas converte-se em fonte de novas ondas elementares, da mesma velocidade e frequência que a onda inicial, cuja superfície envolvente inicial constitui um novo frente de onda.

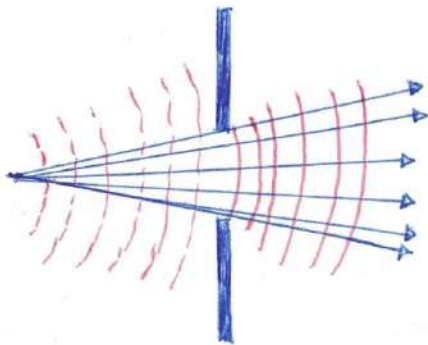


## 1.1. A DIFRACCIÓN

O fenómeno da difracción prodúcese cando un obstáculo impide o avance dunha parte dunha fronte de onda. Ocorre en todo tipo de ondas, xa sexan sonoras, ou ondas na superficie dun fluído ou ondas electromagnéticas.

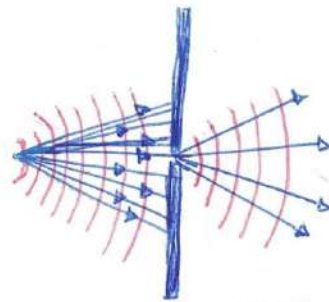
A difracción de ondas pódese observar cando unha onda se atopa cun obstáculo ou orificio cuxo tamaño é da mesma orde ca da lonxitude da onda.

a)



Se o tamaño do obstáculo é demasiado grande non se aprecia o fenómeno da difracción.

b)



Se o orificio é dun tamaño semellante a lonxitude de onda, as ondas difractouse e o orificio convértese nun centro emisor.

Este fenómeno xustifica que podamos escoitar o son que sae dunha habitación ca porta aberta sen necesidade de ter contacto en liña recta ca fonte de dito son.

Na difracción por conseguinte modifícase a dirección de propagación da fronte de onda.

## 1.2. A POLARIZACIÓN.

Otro fenómeno de gran importancia es la polarización. Esta adquiere especial relevancia en las ondas luminosas e es característico de las ondas transversales.

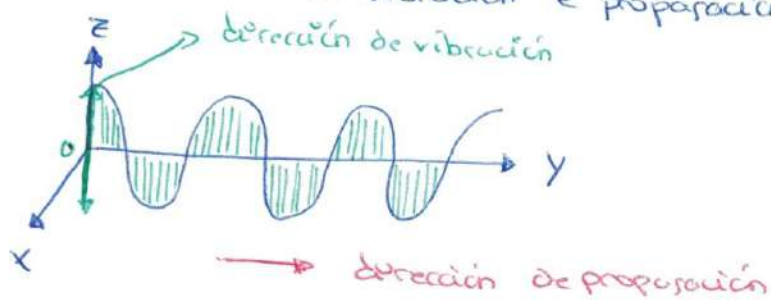
Decimos que una onda no está polarizada cuando son igualmente posibles todas las direcciones de oscilación de las partículas del medio o largo del tiempo; o bien cuando la onda está formada por la superposición de muchas ondas cuyas vibraciones tienen lugar en distintas direcciones, como es el caso de la luz.

Por el contrario, hablamos de ondas polarizadas.

### ⇒ POLARIZACIÓN RECTILÍNEA.

Una onda está polarizada rectilíneamente si la vibración tiene lugar siempre siguiendo rectas en la misma dirección perpendicular a la dirección de propagación.

En este caso llamamos plano de polarización o plano de vibración a la dirección de vibración e propagación.



### ⇒ POLARIZACIÓN CIRCULAR E ELÍPTICA.

Una onda está polarizada circular o elípticamente si la vibración en un punto o a lo largo del tiempo tiene lugar siguiendo círculos o elipses situados en planos perpendiculares a la dirección de propagación.





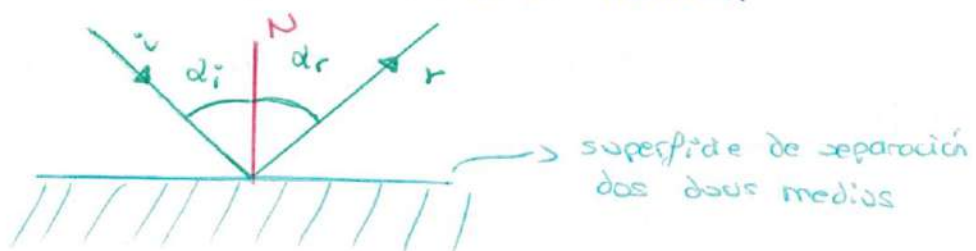
## 2. REFLEXIÓN E REFRACCION.

Cando un movemento ondulatorio se atopa coa superficie de separación de dous medios de distintas características, prodúcense dous fenómenos. Parte da enerxía volve o medio de procedencia da onda (reflexión) e o resto transmítese ó segundo medio (refracción).

### 2.1. REFLEXIÓN.

Fenómeno que se produce cando unha onda se atopa cun cambio de medio que actúa como barreira. Cando a onda incide no interfac dos dous medios, cambia a dirección sen cambiar o medio. Para entender a reflexión, chamaremos:

- Os raios incidentes como  $i$ .
- Os raios reflexados como  $r$ .
- $N$  é a recta perpendicular a superficie de separación dos medios e a que chamaremos normal.

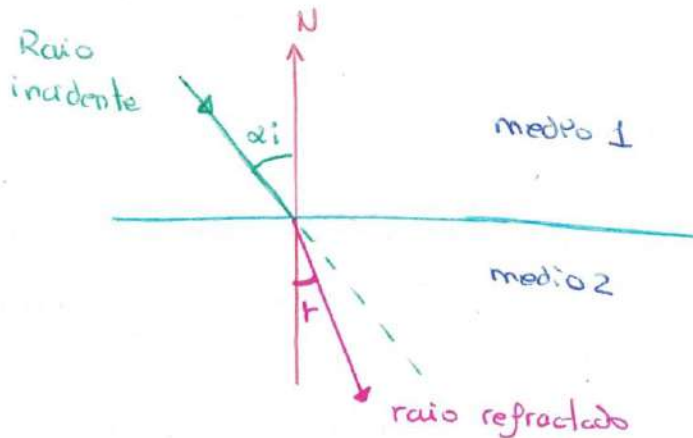


As leis da reflexión son:

- 1- O fronte de ondas reflexado ten a mesma forma que o incidente se a superficie reflectante é plana. Nestes casos cumprese que a dirección de fronte,  $i$ , incidente a normal ( $N$ ) e a dirección da fronte reflexada ( $r$ ) están no mesmo plano.
- 2- O ángulo incidente e reflexado son iguais.  $\alpha_i = \alpha_r$

## 2.2. A REFRACCIÓN.

A refracción é un fenómeno que se produce cando unha onda chega a superficie de separación de dous medios polos que viaxa con diferente velocidade. Neste cambio de medio vai se ver un cambio na dirección de propagación debido a variación de velocidade.



$$v_2 < v_1$$

$v$  = velocidade de propagación

O ángulo de refracción  $r$  é o formado pola superficie de separación ca fronte de onda refractada e é igual ó ángulo formado polo raio refractado e a normal no punto de incidencia.

Todas estas consideracións permiten enunciar as leis da refracción:

- 1º) O raio refractado, a normal e o raio incidente están no mesmo plano.
- 2º) A razón entre o seno do ángulo de incidencia e o ángulo de refracción é unha cte igual a razón entre as velocidades de propagación do movemento ondulatorio. Esta cantidade cte,  $n_{21}$ , denomínase índice de refracción relativo do segundo medio, respecto do primeiro.

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$$

LEI DE SNELL

### 3. SUPERPOSICIÓN DE ONDAS. INTERFERENCIAS.

Ata o de agora analizamos o comportamento dunha soa onda, pero é habitual que nun medio se propaguen varias ondas procedentes de diferentes focos.

Cando un punto do espazo é alcanzado simultaneamente por varias movementos ondulatorios, prodúcese o fenómeno da interferencia.

Según o principio de superposición, a perturbación producida no punto por dúas ou máis ondas é igual a suma das perturbacións que producirán cada unha das ondas no punto por separado.

$$Y = Y_A + Y_B$$

Díse que a interferencia é constructiva cando a perturbación resultante é superior a das ondas das que procede.

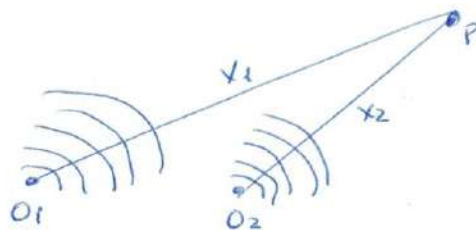
A interferencia será destructiva se a perturbación resultante é inferior a das ondas das que procede.

se temos dúas ondas que proceden de fontes coherentes (mostran un patrón estable nas súas frecuencias e diferencias de fase): crean ondas da mesma frecuencia, lonxitude de onda, e ademais os focos vibran en fase, ou cunha diferenza de fase cte.

Os estados de vibración que xeran as dúas ondas nun punto P, ven dado por:

$$y_1 = A \cdot \text{sen}(wt \pm kx_1)$$
$$y_2 = A \cdot \text{sen}(wt \pm kx_2)$$

$x_1$  e  $x_2 \equiv$  distancias recorridas pola onda ó pto P.





A superposição de ambas duas ondas no ponto P é:

$$y = y_1 + y_2$$

A interferência será constructiva se as ondas chegaram em fase e destrutiva se chegaram em oposição de fase ó pto P.

Pra estudar em que casos acontece cada unha, devemos observar a variação da amplitude  $A'$ :

$$A' = 2A \cdot \cos k \left( \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right)$$

onde

tomará valores entre -1 e 1

Considere-se que a interferência é constructiva quando  $A'$  toma o valor máximo, pra isso o valor do cosseno deve ser  $\pm 1$ .

$$\cos k \left( \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right) = \pm 1 \quad \text{ou} \quad n\pi \quad \downarrow \quad 180^\circ$$

$$k \left( \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right) = n\pi$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} \left( \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right) = n\pi$$

$$\Delta x = \lambda \cdot n$$

no par de comprimentos de onda.

Dize que a interferência é destrutiva quando o valor da amplitude  $A'$  se anula ou non vibra, pelo tanto o cosseno deve ser 0.

$$\cos k \left( \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right) = 0$$

$$k \left( \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right) = (2n+1)\pi/2$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} \left( \frac{x_2 - x_1}{\lambda} \right) = (2n+1)\pi/2$$

$$\Delta x = (2n+1) \lambda/2$$

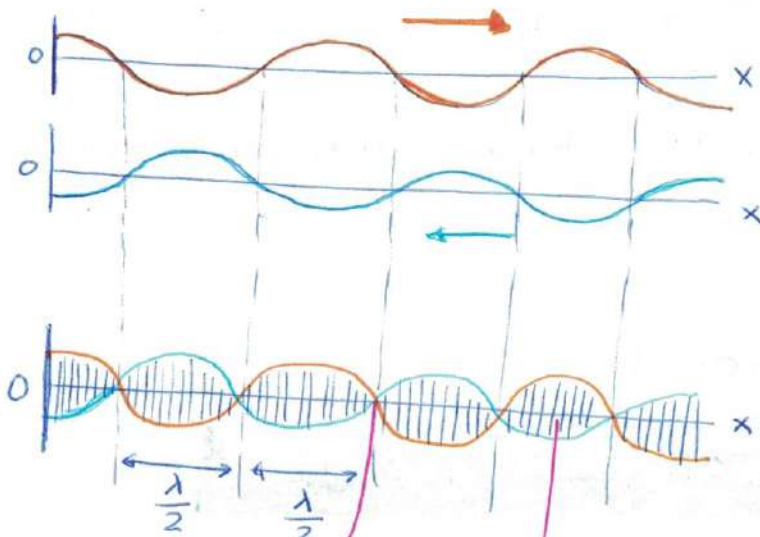
no ímpar de semilongitudes de onda

#### 4. ONDAS ESTACIONARIAS

As ondas estacionárias produzem-se através da interferência de duas ondas idênticas (igual amplitude, frequência e nº de ondas) que se propagam em sentido contrário.

Este tipo de ondas adquire gran importância na física da música, xa que os instrumentos musicais basean o funcionamento en ondas estacionárias.

• Formación de ondas estacionárias:



Ondas incidente e reflectada que producen a interferencia.

A amplitude máxima é o dobre que a amplitude das ondas que a conforman.

Os puntos da onda que non vibran reciben o nome de nodos

Os puntos de máxima amplitude de vibración reciben o nome de ventre

- Unha onda estacionaria non transporta enerxía dun punto a outro. Hai unha redistribución da enerxía, e cada punto do medio ten a súa propia enerxía de vibración.
- A frecuencia é igual a das ondas que se superpoñen.



#### 4.1. ECUAÇÃO DUNHA ONDA ESTACIONÁRIA.

- Pra obter a equação dunha onda estacionaria empregaremos o principio de superposición.
- Supoñamos dúas ondas harmónicas de igual amplitude e frecuencia que se propagan en sentidos opostos do eixe  $Ox$ .

$$y_1 = A \cdot \text{sen}(\omega t + kx)$$

$$y_2 = A \cdot \text{sen}(\omega t - kx)$$

- A elongación resultante obterase a partir da suma:

$$y = y_1 + y_2$$

Dado lugar a expresión:

$$y = 2A \cdot \cos(kx) \cdot \text{sen}(\omega t)$$