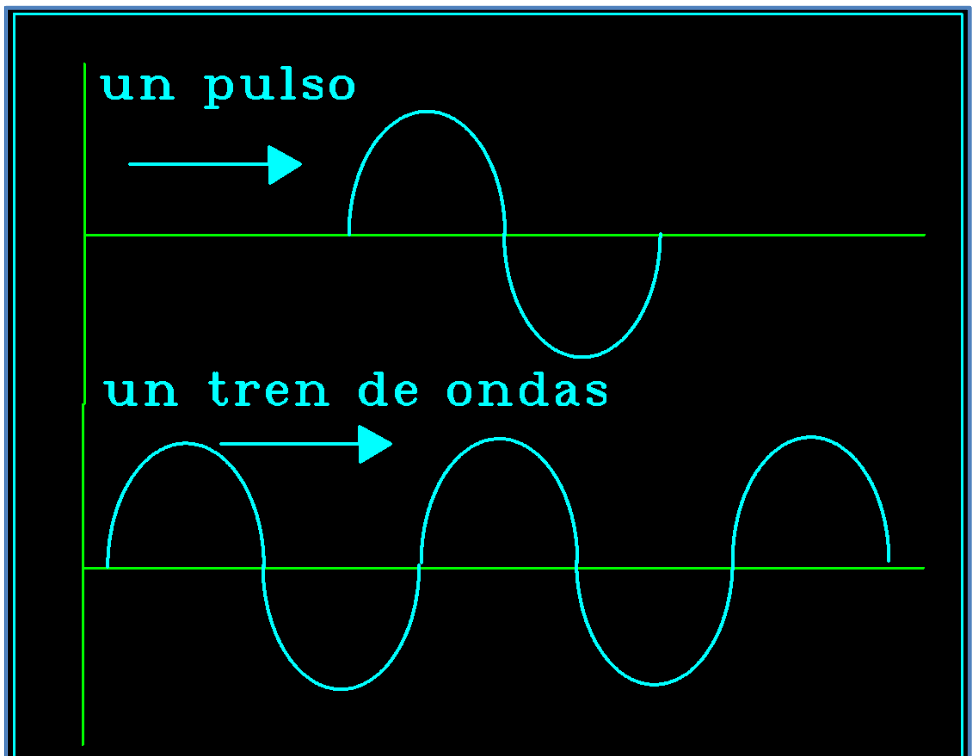
Movemento ondulatorio II

Ondas mecánicas e fenómenos ondulatorios

Movemento ondulatorio

- O movemento ondulatorio é a propagación dunha perturbación dun ponto a outro do espazo.
- Nesta propagación hai un transporte de enerxía e de cantidade de movemento pero non hai transporte neto de materia.



Tomando como exempro as ondas nunha corda, podemos diferenciar un pulso como unha onda elemental, unha perturbación limitada no espazo e no tempo.
Chamamos tren de ondas a un conxunto de pulsos sucesivos.

Ondas mecánicas

- En función da enerxía que transportan, as ondas poden ser mecánicas ou eletromagnéticas.
- Ondas mecánicas son aquelas que transportan enerxía mecánica (cinética e potencial) e trasladanse facendo vibrar as partículas dun medio mecánico elastico.
- Podemos entender neste caso o movemento ondulatorio como a combinación dun MHS que fai vibrar as partículas do medio, que se despraza con movemento uniforme en direción da propagación por un medio elastico.

Ondas mecánicas
(ver vídeo)

Neste video:

https://youtu.be/CucncTg7S_E

poderas ver distintos tipos de ondas mecánicas

Tipos de ondas

- Segundo o tipo de enerxía que se propaga:

1. Ondas mecánicas ou materiais: propága-se enerxía mecánica e precisan dun medio material para se propagar. Por exempro o son.
2. Ondas eletromagnéticas: propága-se enerxía eletromagnética e non precisan de ningún medio material para se propagar. Por exempro a luz.

- Segundo a direción da perturbación e o avance desta:

1. Ondas transversais: a propagación e a perturbación son perpendiculares entre si. Por exempro a onda nunha corda.
2. Ondas lonxitudinais: a propagación e a perturbación teñen a mesma direción. Por exempro o son.

- Segundo o número de dimensións nas que se propaga:

1. Monodimensionais: unha dimensión. Por exempro a que se propaga nunha mola.
2. Bidimensionais: duas dimensións. Por exempro as ondas nun estanque.
3. Tridimensionais: en tres dimensións. Por exempro o son ou a luz.

Onda mecánica, harmónica e unidimensional (ver vídeo e gif)

Observa neste video e gif:

https://youtu.be/uioJDhW_0fQ

https://drive.google.com/file/d/1IEuqa0ce6OaxKTIdYurLahZfS449SIfL/view?usp=sharing

1.-A orixe do movemento ondulatorio é o MHS dun ponto do medio elastico de período T.

2.- A vibración da primeira partícula do medio, traslada-se polo proprio medio. O que se traslada é a vibración.

3.- As partículas separadas unha distancia que denominamos lonxitude de onda (λ) vibran ao unisono. Observa que estan pintadas na mesma cor.

4.- Observa que a velocidade coa que se traslada a perturbación polo medio, é constante e toma o valor:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Onda mecánica, harmónica e unidimensional

<u>Magnitudes asociadas á oscilación</u>

- Período (T): tempo que tarda un ponto en completar unha oscilación.
- Frecuencia (f): número de oscilacións por segundo que realiza un ponto.
- Pulsación (ω) : velocidade angular do MCU asociado ao MHS.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

- Fase (θ) : o estado de vibración dun ponto nun instante.
- Amplitude (A):máxima elongación de cada ponto.

<u>Magnitudes asociadas á propagación</u>

- Lonxitude de onda (λ) : é a distancia entre dous pontos que estan en fase (no mesmo estado de vibración)
- Número de onda (k): número de lonxitudes de onda en 2π metros.

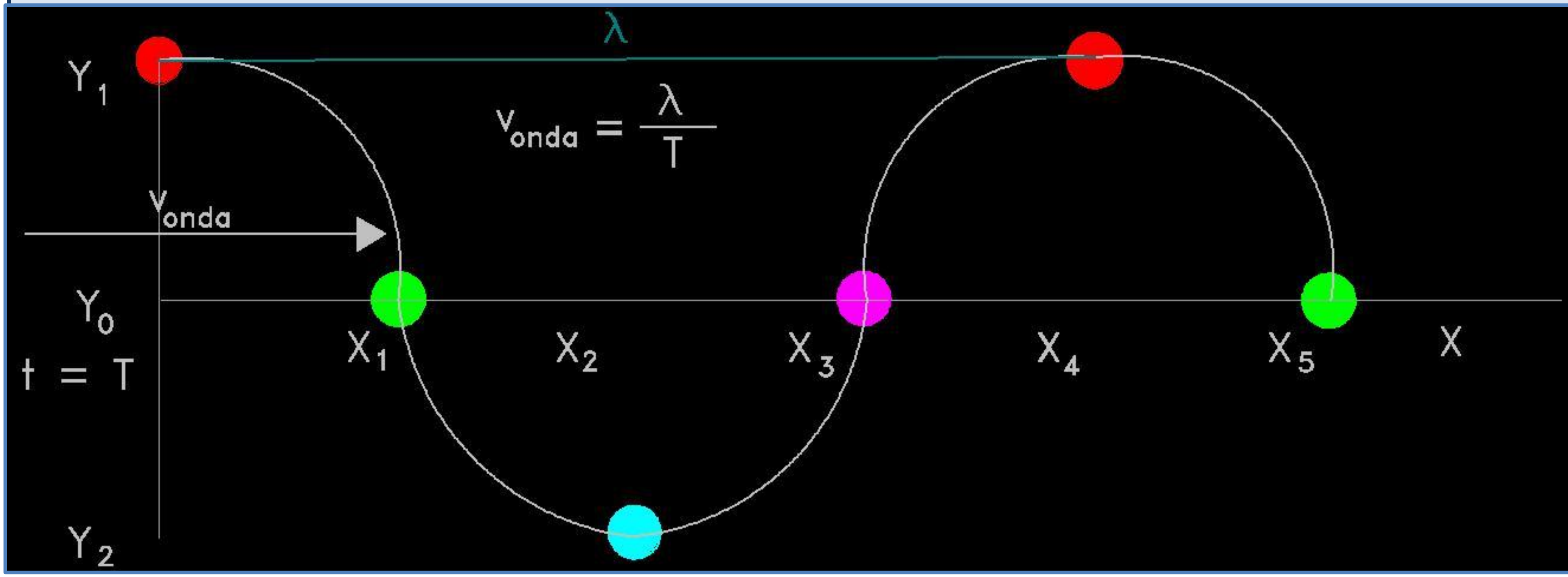
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

As súas unidades son m^{-1}

- Velocidade de propagación (v) : velocidade coa que se propaga a onda polo medio.

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

Ecuación dunha onda mecánica, harmónica e unidimensional



- O ponto inicial vibra realizando un M.H.S de acordo

coa ecuación: $y_{(x_0,t)} = A \cdot sen\ \omega \cdot t$

- O ponto X_4 que está en fase co anterior, segue a mesma ecuación cun retraso de T: $y_{(x_4,t)} = A \cdot sen\ \omega \cdot (t - T)$
- Para calquera ponto **x** a ecuación será a mesma con certo retraso t' : $y_{(x,t)} = A \cdot sen\ \omega \cdot (t - t')$ **(1)**

Ecuación dunha onda mecánica, harmónica e unidimensional

- $t' = \frac{x}{v} \rightarrow y_{(x,t)} = A \cdot sen\ \omega \cdot (t - \frac{x}{v})$
- Introducimos ω no parentese: $y_{(x,t)} = A \cdot sen\ (\omega t - \omega \frac{x}{v})$
- Como $\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow y_{(x,t)} = A \cdot sen\ (\omega t - \frac{2\pi x}{Tv})$
- Como $v = \frac{\lambda}{T} \rightarrow v \cdot T = \lambda$, e como $\frac{2\pi}{\lambda} = k$:

$$y_{(x,t)} = A \cdot sen\ (\omega t - kx)$$

Duas precisións:

1. Se a onda viñera de dereita a esquerda, correspondería un signo + dentro do parentese.
2. Podería acontecer que houbera unha fase inicial θ

$$y_{(x,t)} = A \cdot sen\ (\omega t \pm kx + \theta)$$

e tamén: $$y_{(x,t)} = A \cdot sen\ 2\pi \left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} + \theta\right)$$

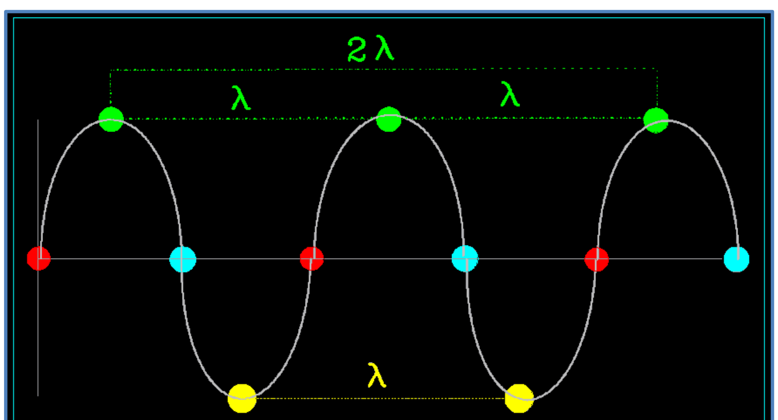
A ecuación dunha onda mecánica, harmónica e unidimensional é doblemente periódica

1.-Periódica respeto do tempo para valores multiplos deT.
Aplicamos a ecuación a un ponto x=constante aceitando que θ=0 e para un tempo t+nT sendo $n \in Z$

$$y_{(x=cte,t+nT)} = A \cdot sen2\pi\left(\frac{t+nT}{T} \pm \frac{x}{\lambda}\right) = A \cdot sen\left(\frac{2\pi t}{T} \pm \frac{2\pi x}{\lambda} + 2\pi n\right)$$

2.-Periódica no espazo para valores multiplos de λ.
Aplicamos a ecuación para t=constante , θ=0 e no ponto x+nλ sendo $n \in Z$

$$y_{(x+n\lambda,t=cte)} = A \cdot sen2\pi\left(\frac{t}{T} \pm \frac{x+n\lambda}{\lambda}\right) = A \cdot sen\left(\frac{2\pi t}{T} \pm \frac{2\pi x}{\lambda} + 2\pi n\right)$$



<u>Conclusións</u>:
1.-Cada ponto nos tempos t, t+T, t+2T,….está no mesmo estado de vibración.
2.-Todos os pontos que disten entre si nλ estan en fase.

Enerxía e intensidade dunha onda mecánica e harmónica

- Cando a onda chega a un ponto, este realiza un MHS e vibra. Terá enton Ec e Ep:

$E_c + E_p = E_M = \frac{1}{2} k \cdot A^2 = \frac{1}{2} m \cdot \omega^2 \cdot A^2$, e como $\omega = 2\pi f$:

$$E_M = 2\pi^2 \cdot m \cdot A^2 \cdot f^2$$

Ou sexa que $E_M \propto A^2 \cdot f^2$

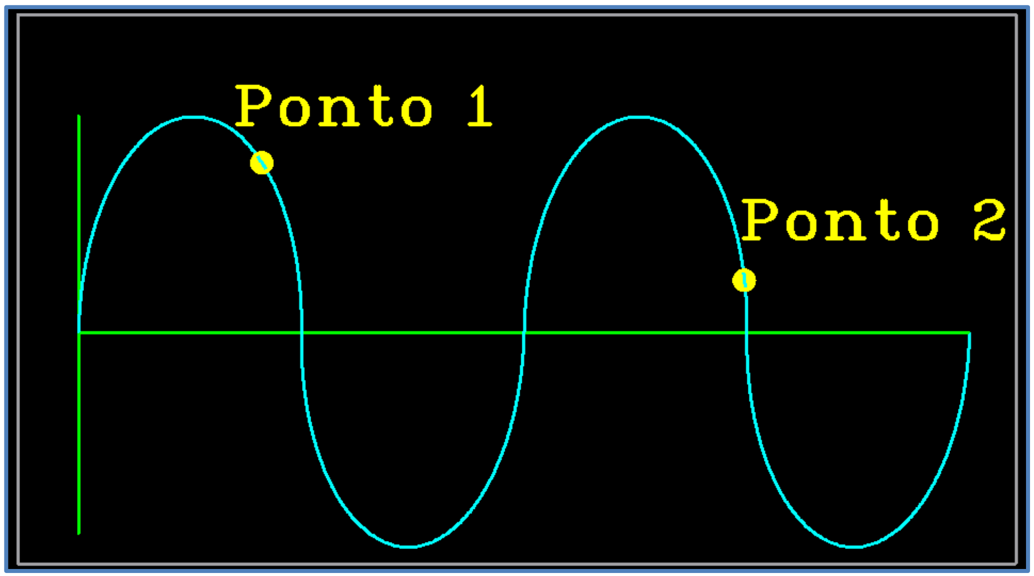
- Definimos intensidade do movemento ondulatorio como a cantidade de enerxía que atravesa a unidade de superficie perpendicular á direción de propagación da ondapor unidade de tempo.

$I = \frac{E}{S \cdot t}$ e como $P = \frac{E}{t}$ enton fica : $I = \frac{P}{S} \ \ (W.m^{-2})$

Intensidade das ondas uni, bi e tridimensionais

1.- <u>Onda unidimensional</u>

Neste caso, resulta evidente que $P = I$. Ademais se consideramos



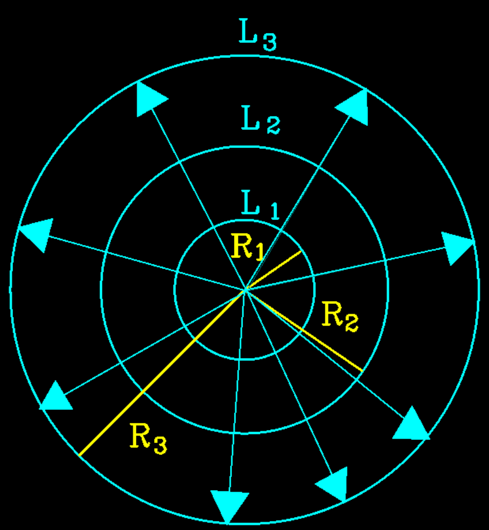
que o medio é homoxeneo (a mesma composición química en calquera lugar) e isotropo (as mesmas propiedades en calquera ponto do medio) é evidente que dos pontos 1 e 2, podemos afirmar que:

$$I_1 = I_2$$

Enfin, simplemente todos os pontos vibran coa mesma intensidade, pois a todos os pontos chega a mesma enerxía se non hai perdas por rozamentos.

Intensidade das ondas uni, bi e tridimensionais

2.- Onda bidimensional



$$I=\frac{P}{L} \rightarrow P=I.L \rightarrow P=I.2.\pi.R$$

Na circunferencia 1: $P_1=I_1.L_1= I_1.2.\pi.R_1$

Na circunferencia 2: $P_2=I_2.L_2= I_2.2.\pi.R_2$

Aceitamos que non hai rozamentos e a enerxia e a potencia conservan-se:

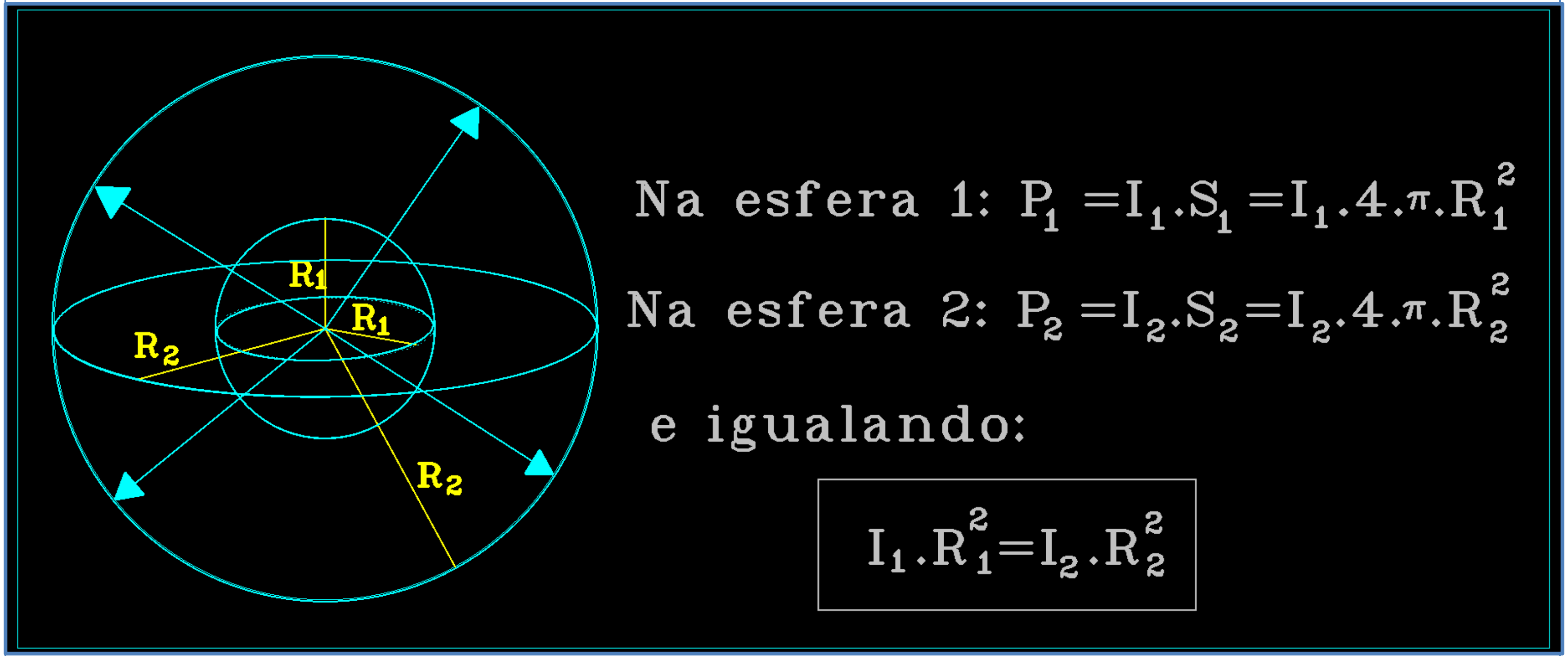
$$P_1=P_2 \rightarrow I_1.2.\pi.R_1=I_2.2.\pi.R_2$$

$$\boxed{I_1.R_1=I_2.R_2}$$

- A intensidade diminúe a medida que a onda afasta-se do foco

Intensidade das ondas uni, bi e tridimensionais

3.- <u>Onda tridimensional</u>



- A intensidade da onda diminúe co cadrado da distancia ao foco

Atenuación das ondas uni, bi e tridimensionais

Xa vimos que para calquera onda: $E_M \propto A^2 \cdot f^2$ e polo tanto resulta que tamen para calquera onda: $I \propto A^2$.

1)No caso da <u>onda unidimensional</u> como $I_1 = I_2$ resulta que $A_1 = A_2$ e polo tanto a onda non amortece os seus efetos.

2)No caso da <u>onda bidimensional</u> vimos que: $I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2$ e como:

$I_1 \propto A_1^2 \; e \; I_2 \propto A_2^2$ resulta : $\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1^2}{A_2^2} = \frac{R_2}{R_1}$, en suma: $\frac{A_1}{A_2} = \sqrt{\frac{R_2}{R_1}}$

3) No caso da <u>onda tridimensional</u> como $I_1 \cdot R_1^2 = I_2 \cdot R_2^2$ e como

$I_1 \propto A_1^2 \; e \; I_2 \propto A_2^2$ resulta : $\frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1^2}{A_2^2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$, en suma: $A_1 \cdot R_1 = A_2 \cdot R_2$

<u>Conclusión</u>: nas ondas bi e tridimensionais, hai unha redución da amplitude a medida que aumenta a distancia ao foco, esta diminución non deriva do rozamento senon de que a enerxía repartese entre cada vez máis partículas. Este fenomeno denomínase atenuación.

Absorción de ondas

- A absorción no movemento ondulatorio, consiste na diminucióndа intensidade da onda debido a fenómenos disipativos (rozamentos) no medio polo que se propaga.
- Este fenómeno é independente do que coñecimos co nome de atenuación, e depende das carateristicas do medio polo que se propaga, que pode ser máis ou menos elastico.
- A intensidade redúcese seguindo unha ecuación exponencial dada por:

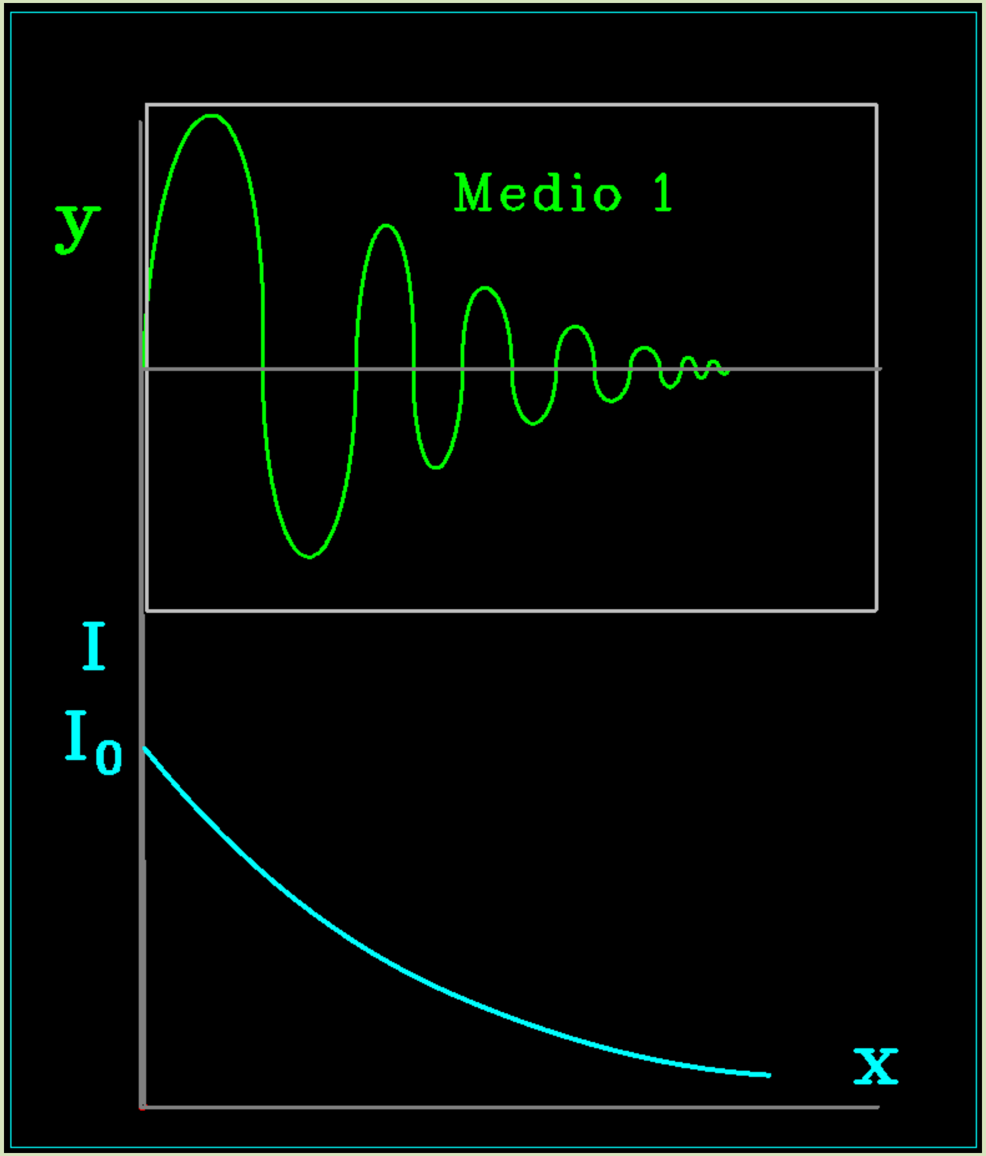
$$-dI = \beta \cdot I \cdot dx$$

Onde I é a intensidade, β é o coeficiente de absorción carateristico do medio, e dx é o espesor do medio.

$$\frac{dI}{I} = \beta \cdot dx \rightarrow \int_{I_0}^{I} \frac{dI}{I} = -\beta \int_0^x dx \rightarrow ln\frac{I}{I_0} = -\beta \cdot x$$

$$\boxed{I = I_0 \cdot e^{-\beta \cdot x}}$$

Absorción de ondas



Fenómenos ondulatorios
(ver vídeo)

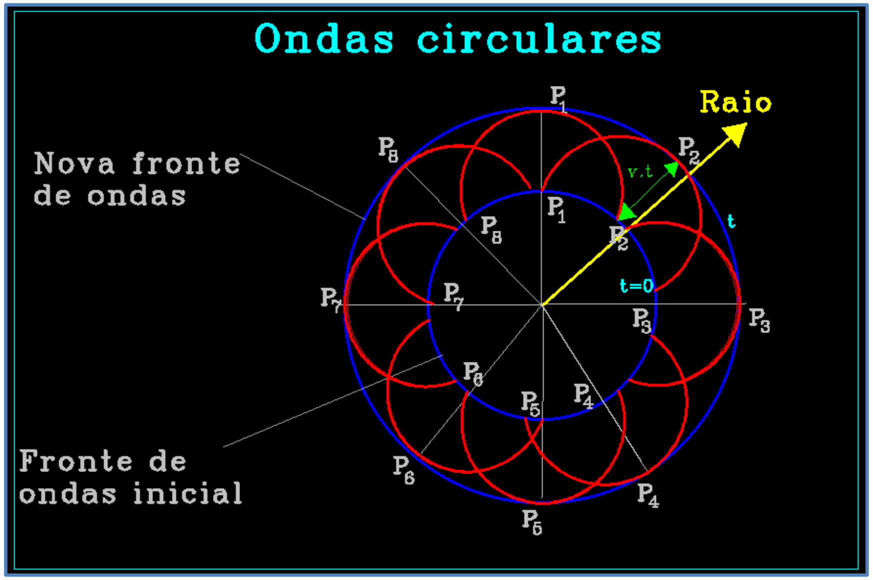
Neste video:

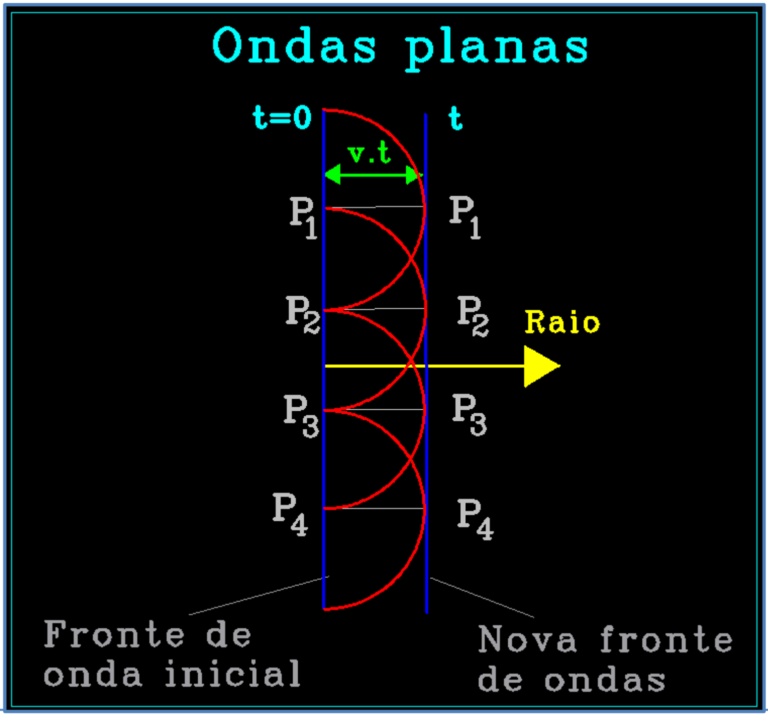
https://youtu.be/IuGczr68SWc

poderás ver ondas circulares e planas na cubeta de ondas, e observar a reflexión, como as ondas arrodean obstáculos, interferencias e superposición de ondas

Propagación de ondas: Principio de Huygens

- Cada ponto da fronte de ondas pode considerarse un foco de ondas secundarias que se propagan na mesma direción da perturbación. A velocidade de propagación e a frecuencia destas ondas secundarias é a mesma que a da onda orixinal.
- A superficie tanxente (coñecida como envolvente) a todas as ondas secundarias nun intre é a seguinte fronte de ondas.





Propagación de ondas: Principio de superposición e interferencias

- Cando duas ou máis ondas coinciden nun ponto do medio, a perturbación resultante é a suma das perturbacións individuais.
- A este fenómeno chamamoslle interferencia.
- As interferencias poden ser :

a) Construtivas se os efetos individuais sumanse e enton a perturbación resultante é maior que as individuais.

b) Destrutivas se os efetos individuais restanse resultando unha perturbación final menor.

Interferencia de ondas coerentes: ecuación da onda resultante

- Duas ondas que teñen a mesma fase inicial di-se que son coerentes.
- Supoñamos duas ondas de fase inicial 0 que chegan ao mesmo tempo ao ponto P.
- Consideremos que as distancias dende cada foco ata o ponto P son x_1 e x_2 respetivamente.
- Ademais teñén a mesma amplitude.

As súas ecuacións serían: $y_1 = A \cdot sen(\omega \cdot t + k \cdot x_1)$ e $y_2 = A \cdot sen(\omega \cdot t + k \cdot x_2)$

Ao aplicar o principio de superposición: $y = y_1 + y_2$ e obteríamos:

$y = A \cdot [sen(\omega \cdot t + k \cdot x_1) + sen(\omega \cdot t + k \cdot x_2)]$ e podemos obter (ver nota):

y$= 2 \cdot A \cdot sen\frac{(\omega \cdot t + k \cdot x_1) + (\omega \cdot t + k \cdot x_2)}{2} \cdot \cos\frac{(\omega \cdot t + k \cdot x_1) - (\omega \cdot t + k \cdot x_2)}{2}$ e tamén:

$$y = 2 \cdot A \cdot sen(\omega \cdot t + k \cdot \frac{x_1 + x_2}{2}) \cdot \cos(k \cdot \frac{x_1 - x_2}{2})$$

Os termos en vermello son independentes do tempo e reunímo-los baixo a denominación de A_r: amplitude resultante, e enton obtemos:

$$y = A_r \cdot sen(\omega \cdot t + k \cdot \frac{x_1 + x_2}{2})$$

Nota: $sen\ a + sen\ b = 2 \cdot sen\frac{a+b}{2} \cdot cos\frac{a-b}{2}$

Interferencia de ondas coerentes: amplitude da onda resultante

- Como acabamos de ver: $A_r = 2 \cdot A \cdot \cos(k\frac{x_1-x_2}{2})$
- O valor da amplitude será máximo (2.A) cando $\cos\left(k\frac{x_1-x_2}{2}\right) = 1$ e iso acontece si:

  $k \cdot \frac{x_1-x_2}{2} = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \ldots\ldots = n \cdot \pi$ para $n \in Z$ (interferencia construtiva)

  Se sustituímos k polo seu valor: $\frac{2\cdot\pi}{\lambda} \cdot \frac{(x_1-x_2)}{2} = n \cdot \pi$ e resulta:

$$\boldsymbol{x_1 - x_2 = n \cdot \lambda}$$

  A diferencia de camiños ten que ser igoal a un número enteiro de veces λ

- O valor da amplitude será mínimo, 0, cando $\cos\left(k\frac{x_1-x_2}{2}\right) = 0$ que acontece si:

  $k \cdot \frac{x_1-x_2}{2} = \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} + \pi, \frac{\pi}{2} + 2\pi \ldots\ldots = \frac{\pi}{2} + n \cdot \pi$ para $n \in Z$ (interferencia destrutiva)

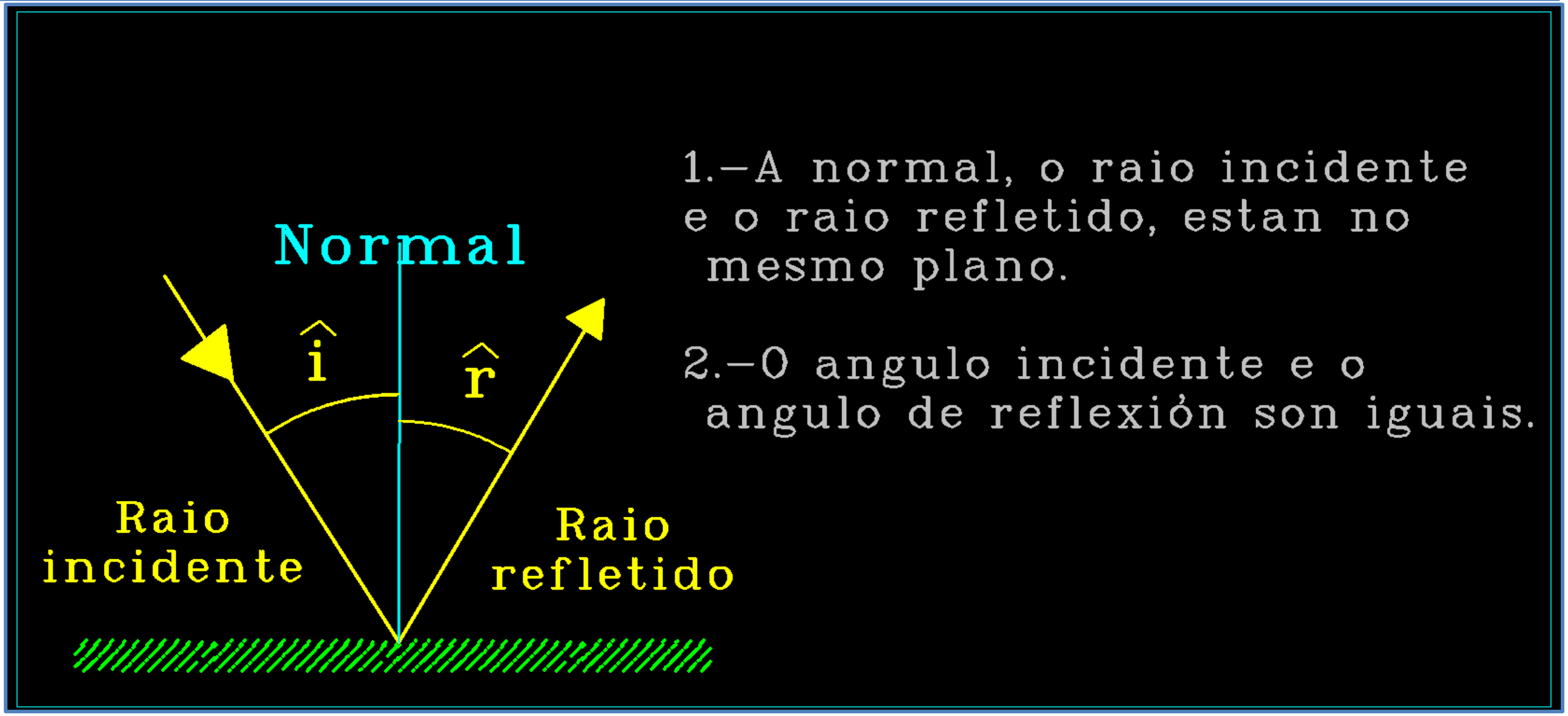
  Se sustituímos k polo seu valor: $\frac{2\cdot\pi}{\lambda} \cdot \frac{(x_1-x_2)}{2} = \frac{\pi}{2} + n \cdot \pi$ e resulta:

$$\boldsymbol{x_1 - x_2 = (2 \cdot n + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}}$$

A diferencia de camiños ten que ser igoal a un número impar de veces a metade de λ.

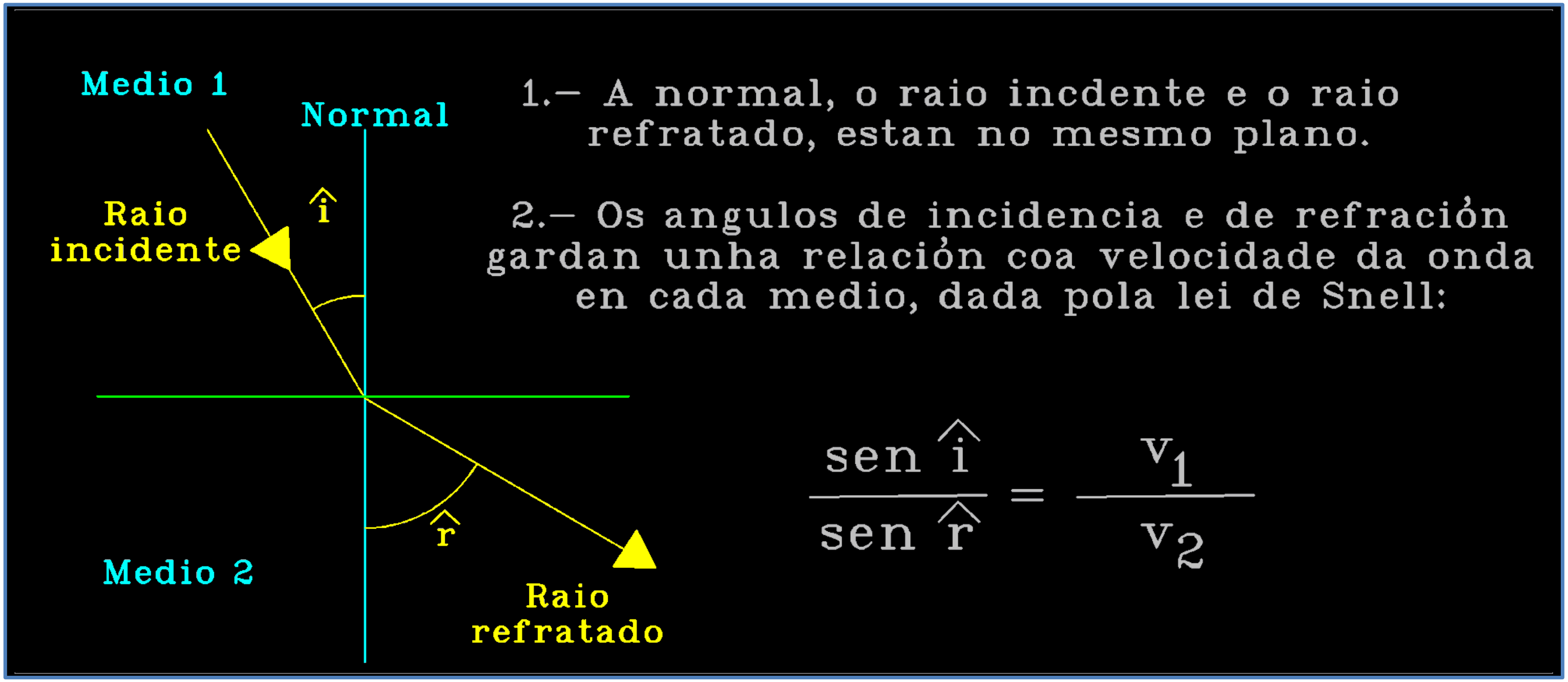
Reflexión de ondas

É o fenómeno que experimenta unha onda cando incide sobre unha superficie que separa dous medios e é devolta ao medio inicial coa mesma velocidade máis cambiando de direción.



Refración de ondas

É o cambio de direción de propagación que sofre unha onda ao pasar dun medio a outro no que se move cunha velocidade distinta á do primeiro medio.



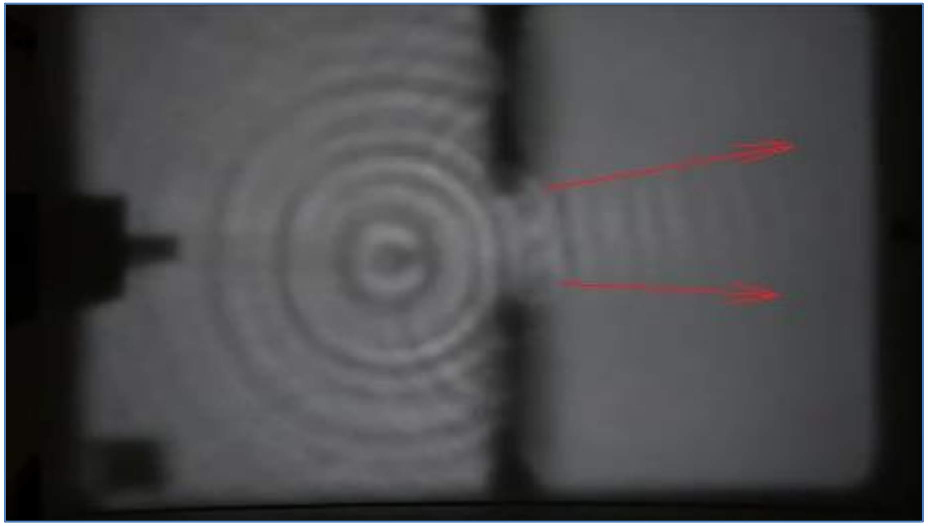
Difración de ondas
(ver vídeo)

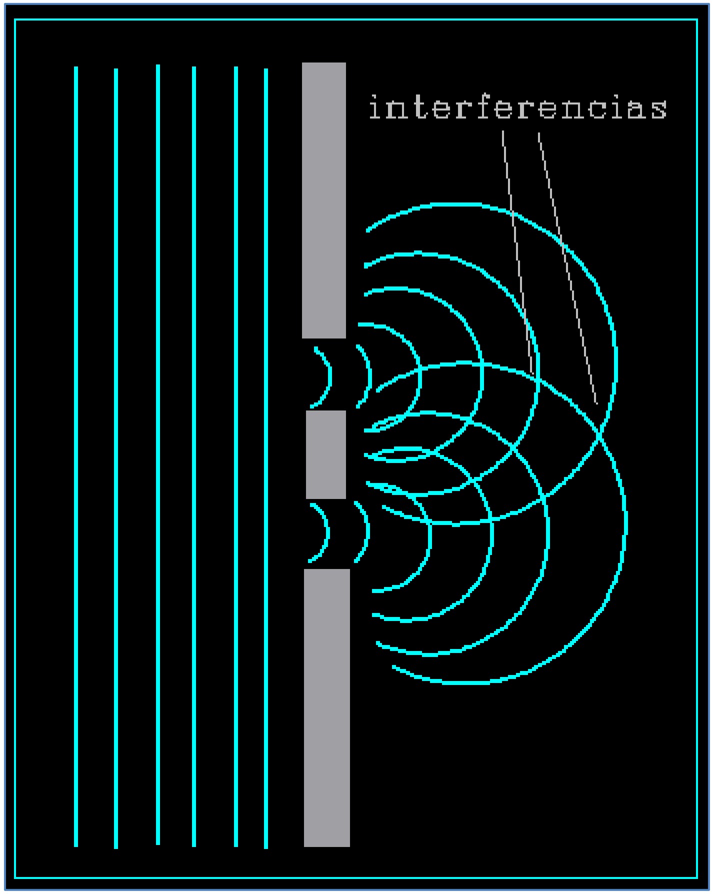
Neste video:

https://youtu.be/ExM12T3EU_g

Podes observar a difración de ondas planas e circulares na cubeta de ondas.

Difración de ondas





Cando unha onda chega a un obstaculo de tamaño semellante á súa lonxitude de onda, o obstaculo convirtese nun centro emisor.

Na difración modifícase a direción de propagación da fronte de ondas.

A difración soe ir acompañada de interferencias.

Ondas estacionarias
(ver vídeo)

Neste video:

https://youtu.be/8dujrdtTNeM

verás ondas estacionarias nun resorte e poderás observar as suas carateristicas.

Ondas estacionarias

- As ondas estacionarias formanse ao interferir duas ondas de igual amplitude e frecuencia e co mesmo valor de velocidade que se propagan na mesma direción mais en sentidos contrarios nun medio elastico.
- Carateristicas:

1. Presentan pontos que non vibran (nodos) e pontos que si (ventres)
2. A distancia entre dous nodos ou dous ventres consecutivos é $\lambda/2$.
3. A enerxía realmente enton non se propaga.

O son

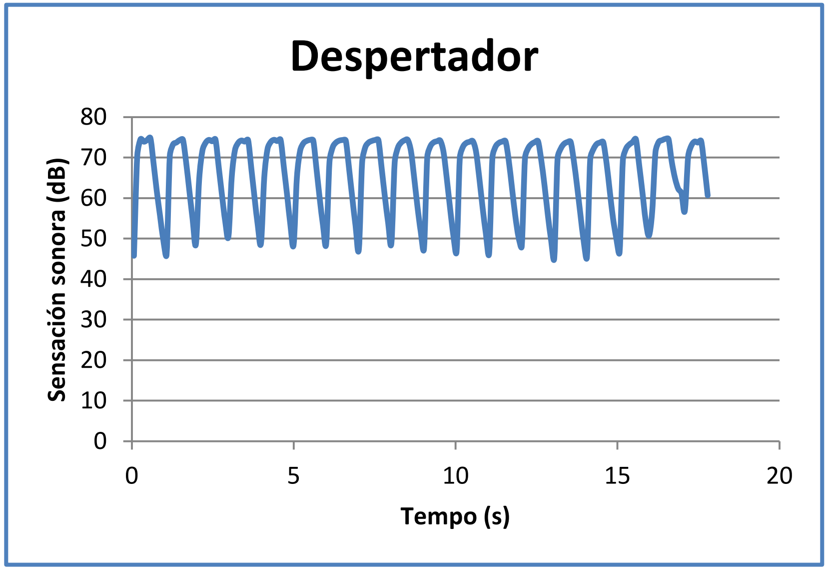
- O son é unha perturbación mecánica orixinada por un obxecto que vibra. Esta perturbación propgága-se por un medio elastico mediante ondas sonoras.
- As ondas sonoras son ondas esféricas e lonxitudinais e polo tanto a súa intensidade varía segundo: $\boldsymbol{\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}}$
- Presenta como cualidades:

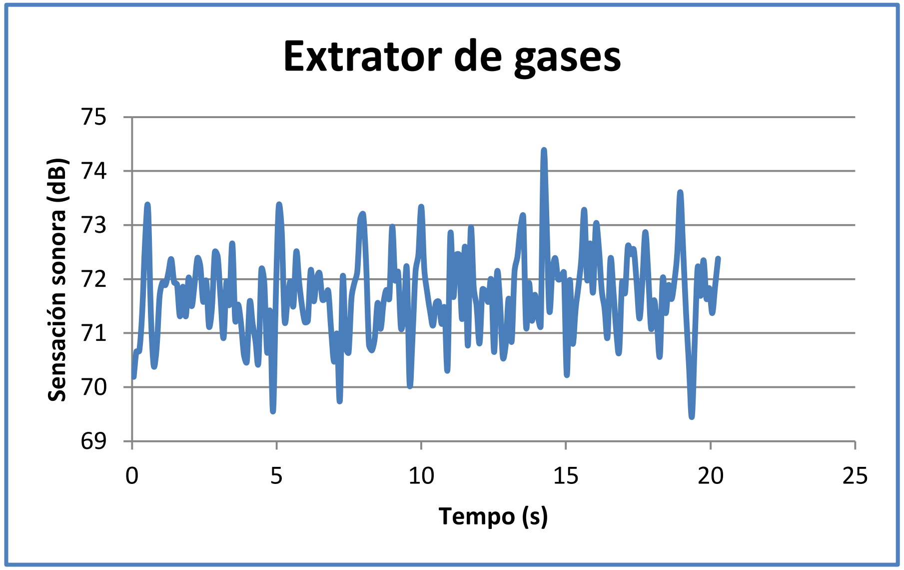
1. **Tono**: depende da frecuencia de vibración da fonte. Permite distinguir entre agudos e graves.
2. **Timbre**: permite diferenciar sons da mesma frecuencia e amplitude, producidos por distintas fontes.

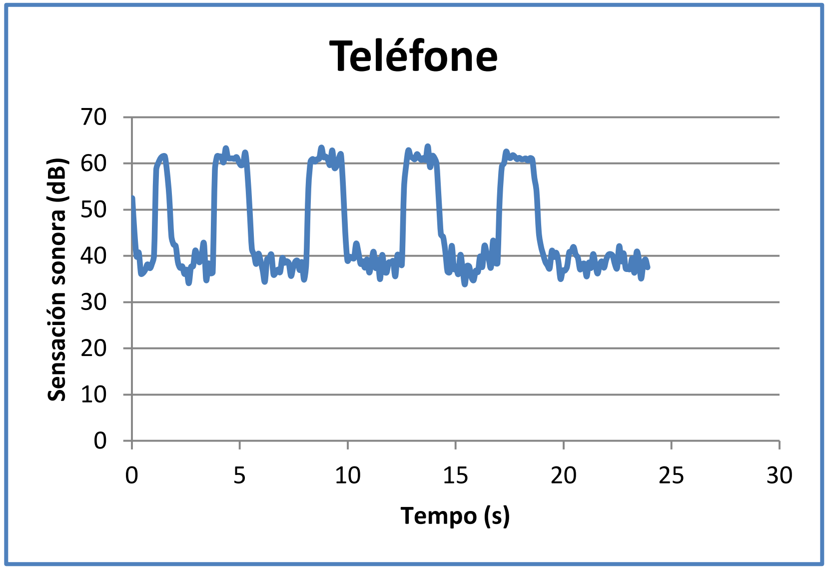
- A relación entre **sensación sonora** (**S**) e **intensidade** (**I**) ven dada pola expresión: $\boldsymbol{S = 10 \cdot log \frac{I}{I_0}}$ míde-se en decibelios (dB)

Nesta expresión $I_0 = 10^{-12} W \cdot m^{-2}$ é a intensidade limiar.

Gráficas de sensación sonora (Physics Toolbox)





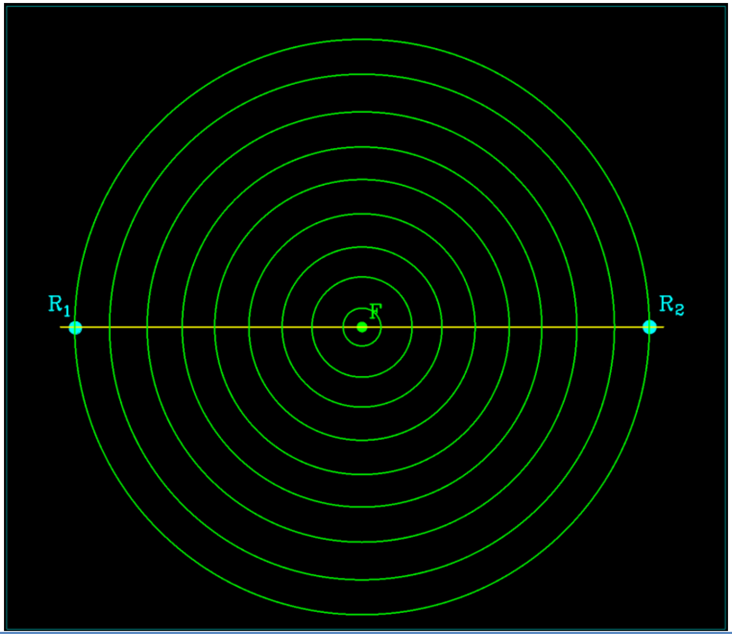


Efeito Doppler

- Denomína-se efeito Doppler, en honor do físico e matemático austríaco Christian Andreas Doppler, ao cambio aparente de frecuencia producido nunha onda polo movemento relativo da fonte ou foco, con respeito ao observador (ou do observador
- Repasa o video: https://www.youtube.com/watch?v=-OuP9PPf7nI
- Observa que cando o foco está en repouso, os observadores ou receptores R_1 e R_2 reciben a fronte de ondas no mesmo tempo e coa mesma lonxitude de onda.
- Consideremos a velocidade da onda e súa relación coa lonxitude de onda frecuencia:

$$v_{onda} = v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

- Nesta expresión, tanto a velocidade da onda como a lonxitude de onda como a frecuencia, refíren-se a valores medidos con foco e receptores en repouso .



Efeito Doppler co emisor en movemento

Consideremos agora o caso no que o **foco** (**F**) diríxe-se hacia $\mathbf{R_2}$ con movemento retilíneo e uniforme e velocidade $\mathbf{V_{Foco}=V_F}$.

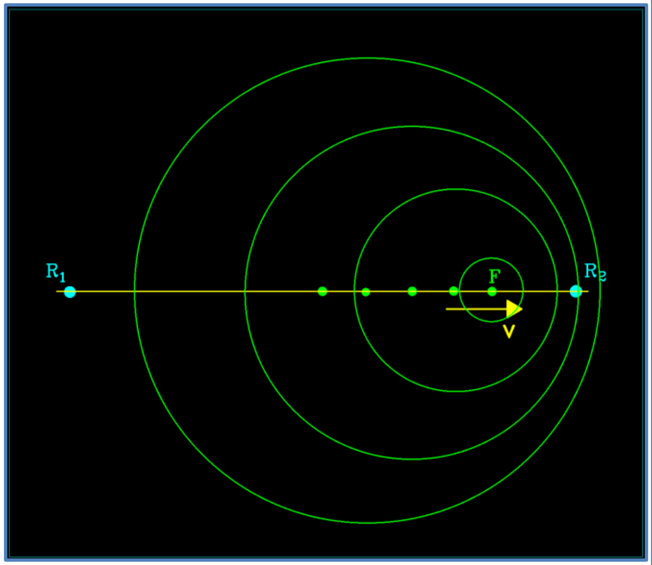
O foco emitirá ondas con período **T** en qualquer momento e en **T** o foco percorre unha distancia dada por: $\mathbf{v_F \cdot T}$

O **receptor** $\mathbf{R_2}$ percebe unha lonxitude de onda:

$$\lambda_2 = \lambda - v_F \cdot T$$

Se chamamos f_2 á frecuencia percibida por $\mathbf{R_2}$:

$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{\lambda - v_F \cdot T}$$



Como $\lambda = \frac{v}{f} = v \cdot T$ sustituímos e obtemos:

$$f_2 = \frac{v}{v \cdot T - v_F \cdot T} = \frac{v}{T(v - v_F)} \;\rightarrow\; f_2 = f \cdot \left(\frac{v}{v - v_F}\right)$$

que é a frecuencia que percebe R_2

Efeito Doppler co emisor en movemento

O **receptor R₁** percebe unha lonxitude de onda:

$$\boldsymbol{\lambda_1 = \lambda + v_F \cdot T}$$

E facendo as mesmas consideracións que no apartado anterior, podemos obter:

$$\boldsymbol{f_1 = f \cdot \left(\frac{v}{v + v_F}\right)}$$

que é a frecuencia que percebe R_1

En suma, poderíamos resumir en que a frecuencia $\boldsymbol{f'}$ que observaría qualquer receptor sería:

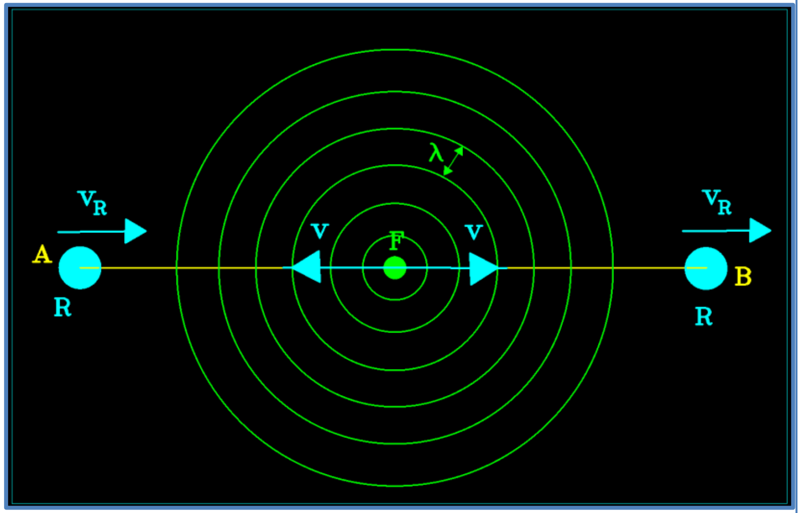
$$\boldsymbol{f' = f \cdot \left(\frac{v}{v \pm v_F}\right)}$$

Podemos tamén obter unha expresión en función da lonxitude de onda, equivalente á anterior:

$$\boldsymbol{\lambda' = \lambda_0 \cdot \left(1 \pm \frac{v_F}{v_o}\right)}$$

Efeito Doppler co receptor en movemento

Consideremos agora o caso no que o foco está parado e é o receptor **R** o que está en movemento dende A hacia B con velocidade $\mathbf{V_R}$.



A onda move-se con velocidade **V**.

Se R achega-se a F, os frentes de ondas chegan con velocidade:

$$v' = v + v_R$$

Así que a frecuencia que percebe:

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v+v_R}{v/f} \rightarrow \boldsymbol{f' = f \cdot (\frac{v+v_R}{v})}$$

Se o observador se alonxa: $v' = v - v_R$ e repetindo os pasos obtemos:

$$\boldsymbol{f' = f \cdot (\frac{v-v_R}{v})}$$

Efeito Doppler con movemento relativo de foco e receptor

- Podemos obter unha expresión que xeraliza o calculo da frecuencia percebida en función de que se mova o foco, o receptor ou os dous ao mesmo tempo:

$$\boldsymbol{f' = f \cdot \left(\frac{v \pm v_R}{v \pm v_F}\right)}$$

- Observa que tomaremos para v_R signo positivo, para un receptor que se move hacia o foco e negativo se se afasta.
- Para v_F tomaremos signo positivo se se afasta do receptor, e signo negativo se se achega a el.