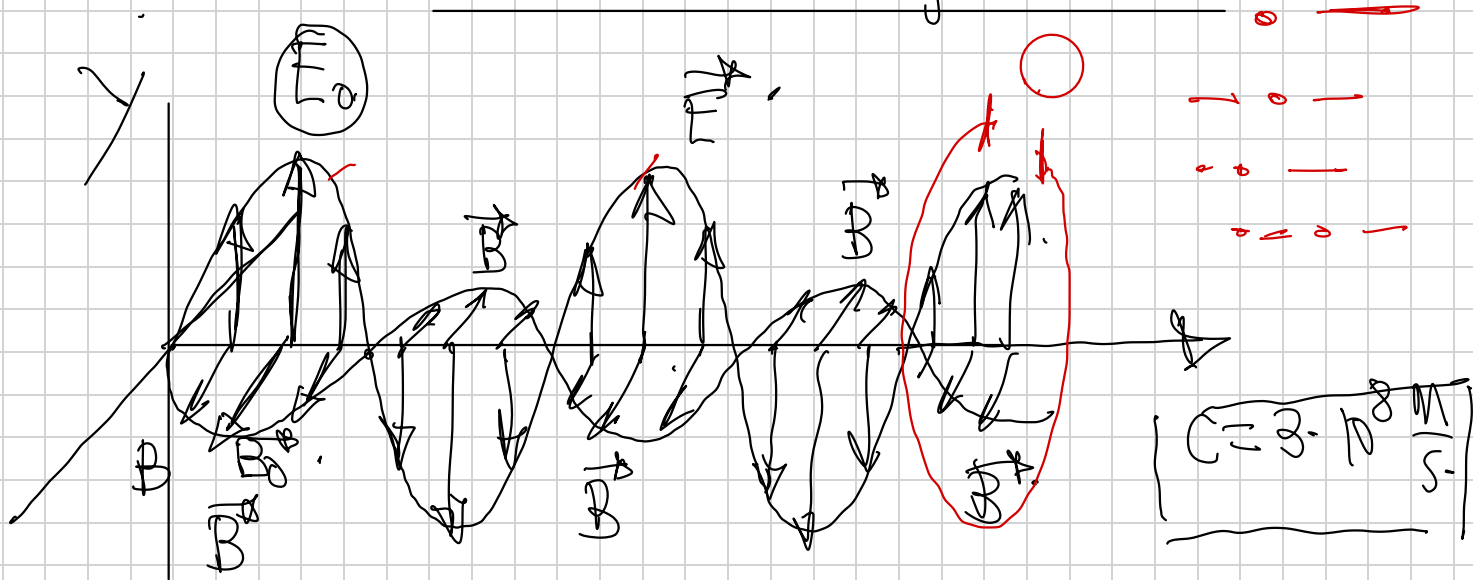


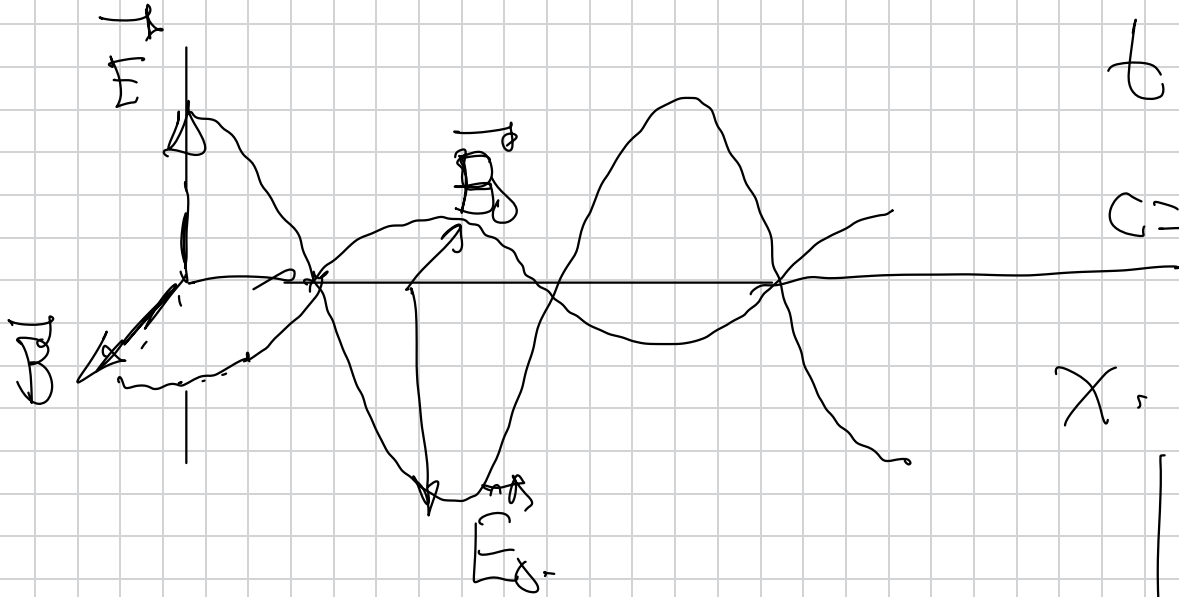
- Ondas electromagnéticas
- Física Cuántica
- Física Nuclear

Ondas electromagnéticas.



$$\vec{E}(x, t) = E_0 \cdot \sin(\omega t - kx + \varphi_0) \hat{y} \quad \left(\frac{E}{c} = \frac{B}{c} \right)$$

$$\vec{B}(x, t) = B_0 \cdot \sin(\omega t - kx + \varphi_0) \vec{e}_x \quad (1)$$



$$t = 0$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

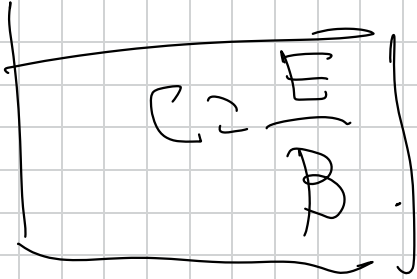
x

$$\left[\begin{array}{c} \vec{E} \\ c \\ \vec{B} \end{array} \right]$$

$$\vec{E}(x, t) = E_0 \cdot \cos(\omega t - kx) \vec{e}_y$$

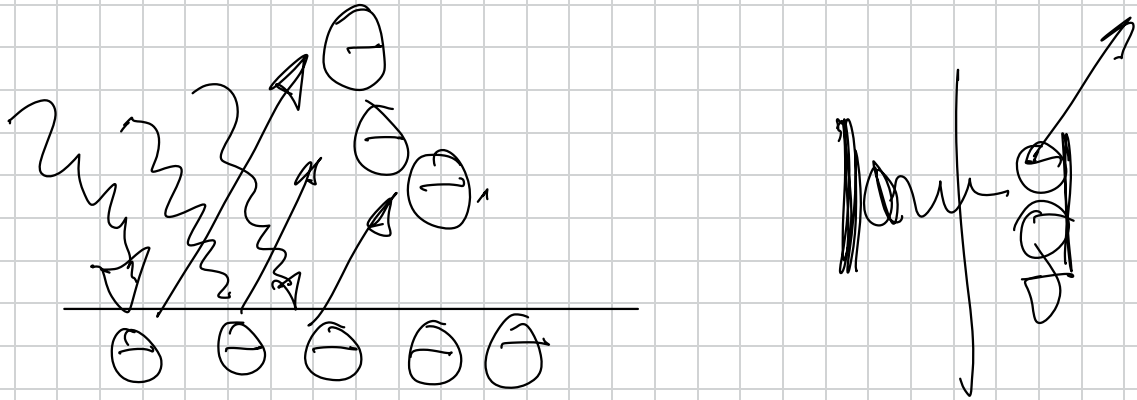
$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

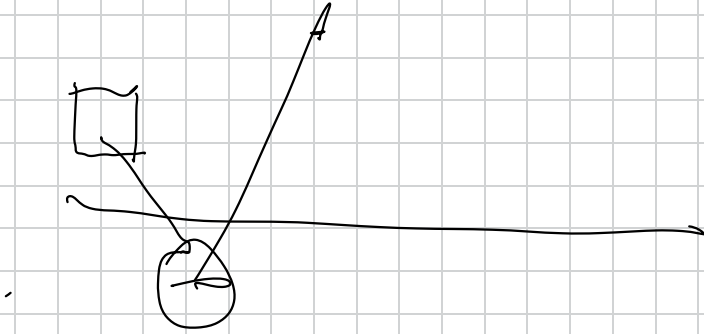
$$E \supset C \supset B$$



Albert Einstein,

Explicación del efecto fotoeléctrico





> 41.- El campo eléctrico de una onda electromagnética en el vacío es:

$$E = 100 \cdot \sin(3 \cdot 10^{15}t - 1 \cdot 10^7x) \text{ (S.I)}$$

a) Calcula la longitud de onda y la frecuencia

b) Calcula la amplitud del campo eléctrico

c) Calcula la amplitud del campo magnético y su ecuación

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ → velocidad de cualquier onda electromagnética en el vacío.

$$E = E_0 \cdot \sin(\omega t - kx)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{1 \cdot 10^7} \text{ m}$$

$$v \Rightarrow c = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow c = \lambda \cdot \frac{1}{T} \Rightarrow c = \lambda \cdot f$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2\pi \cdot 1 \cdot 10^{-7}} \text{ Hz.}$$

$$a) \quad F_D = 100 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \left(\frac{\text{V}}{\text{m}} \right)$$

$$C = \frac{144 \pi \epsilon_0}{D} \Rightarrow D$$

$$C = \frac{144 \pi \epsilon_0}{D_0} \Rightarrow D_0$$

$$D_0 = \frac{144 \pi \epsilon_0}{C} = \frac{100}{3 \cdot 10^8} \text{ m}$$

$$E = \underbrace{100}_{E_0} \cdot \text{Sen} \left(\underbrace{3 \cdot 10^{15} t}_{\omega} - \underbrace{1 \cdot 10^7 x}_{k} \right) \quad (\text{S.I.})$$

$$a) \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{1 \cdot 10^7} = 628 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{3 \cdot 10^{15}}{2\pi} = 477 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

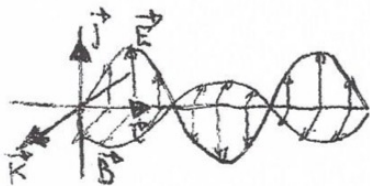
b) $E_0 = 100 \text{ N} \cdot \text{C}^{-1} \Rightarrow$ Amplitud del campo eléctrico o valor máximo del campo eléctrico.

c) Ambos campos se relacionan mediante la ecuación $c = \frac{E}{B} \Rightarrow c = \frac{E_0}{B_0} \quad (c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})$

$B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{100}{3 \cdot 10^8} = 333 \cdot 10^{-7} \text{ T} \Rightarrow$ Amplitud del campo magnético o valor máximo del campo magnético.

$$B = B_0 \cdot \text{sen}(\omega t - kx)$$

$$B = 333 \cdot 10^{-7} \cdot \text{sen}(3 \cdot 10^{15} t - 1 \cdot 10^7 x) \quad (\text{S.I.})$$



Ambas ecuaciones de la onda electromagnética podemos expresarlas vectorialmente como:

$$\vec{E} = 100 \cdot \text{sen}(3 \cdot 10^{15} t - 1 \cdot 10^7 x) \vec{j} \quad (\text{S.I.})$$

$$\vec{B} = 333 \cdot 10^{-7} \text{sen}(3 \cdot 10^{15} t - 1 \cdot 10^7 x) \vec{k} \quad (\text{S.I.})$$

→ 42.- Una onda electromagnética que se propaga por el vacío posee una frecuencia de $2 \cdot 10^8$ Hz y un valor máximo del campo magnético de $1,7 \cdot 10^{-6}$ T

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

a) Calcula la longitud de onda y el período

b) Calcula las ecuaciones de los campos eléctrico y magnético correspondientes

$$a) \quad c = \lambda \cdot f$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^8} = 1,5 \text{ m}$$

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

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2 \cdot 10^8} \text{ s.}$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 2 \cdot 10^8 = 4\pi \cdot 10^8 \frac{\text{rad}}{\text{s.}}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{1,5} = \frac{4}{3}\pi \frac{\text{rad}}{\text{m.}}$$

$$B = B_0 \cdot \sin(\omega t - kx)$$

$$B = 17 \cdot 10^{-6} \cdot \sin\left(4\pi \cdot 10^8 t - \frac{4}{3} \pi x\right) \quad (\text{SI}) \quad (\text{T})$$

$$E = 510 \cdot \sin\left(4\pi \cdot 10^8 t - \frac{4}{3} \pi x\right) \quad (\text{SI}) \quad \left(\frac{\text{V}}{\text{m}}\right)$$

$$c = \frac{E}{B} \Rightarrow E = c \cdot B \Rightarrow E_0 = c \cdot B_0 = 3 \cdot 10^8 \cdot 17 \cdot 10^{-6}$$

$$E_0 = 510 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

43.- Una onda electromagnética cuya longitud de onda es de 5,98 m se propaga en el vacío. Si la amplitud del campo eléctrico es de $800 \text{ N}\cdot\text{C}^{-1}$, determina las ecuaciones de los campos eléctrico y magnético

43)

$$c = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow T = \frac{\lambda}{c} = \frac{5,98}{3 \cdot 10^8} = 1,99 \cdot 10^{-8} \text{ s}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{1,99 \cdot 10^{-8}} = 3,15 \cdot 10^8 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{5,98} = 1,05 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$c = \frac{E}{B} \Rightarrow c = \frac{E_0}{B_0} \Rightarrow B_0 = \frac{E_0}{c} = \frac{800}{3 \cdot 10^8} = 2,66 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

$$E = E_0 \cdot \sin(\omega t - kx)$$

$$E = 800 \cdot \sin(3,15 \cdot 10^8 t - 1,05x) \text{ (S.I.)}$$

$$B = B_0 \cdot \sin(\omega t - kx)$$

$$B = 2,66 \cdot 10^{-6} \sin(3,15 \cdot 10^8 t - 1,05x) \text{ (S.I.)}$$

44.- Una onda electromagnética armónica de 20 MHz se propaga en el vacío, en el sentido positivo del eje OX. El campo eléctrico de dicha onda tiene la dirección del eje OZ y su amplitud es de $3 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{C}^{-1}$

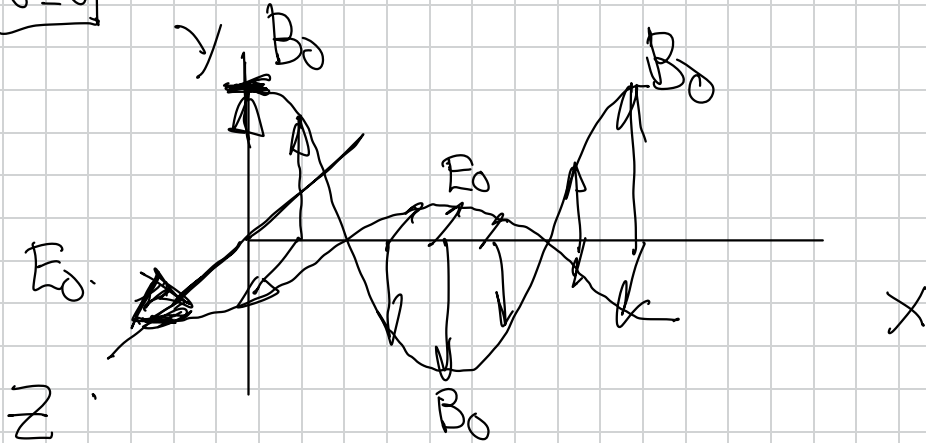
a) Escriba la expresión del campo eléctrico $E(x,t)$ sabiendo que en $x=0$ su módulo es máximo cuando $t=0$. $\rightarrow \varphi_0 = \pi/2 \text{ rad}$.

b) Represente en una gráfica los campos $E(t)$ y $B(t)$ y la dirección de propagación de la onda

$$E = 3 \cdot 10^{-3} \text{ M} \\ \text{V}$$

$$20 \text{ MHz} = 20 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$E = 0$$



$$1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 20 \cdot 10^6 \\ \omega = 4 \cdot 10^7 \pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$E = E_0 \cdot \cos(\omega t - kx + \frac{\pi}{2})$$

$$c = \lambda \cdot f$$

$$E = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \cos(4 \cdot 10^7 \pi t - \frac{2\pi}{15} x + \frac{\pi}{2}) \text{ (S.I.)}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{20 \cdot 10^6} = 15 \text{ m.}$$

$$E = 3 \cdot 10^{-3} \cos(4 \cdot 10^7 \pi t - \frac{2\pi}{15} x) \text{ (S.I.)}$$

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

$$B = 10^{-11} \cos(4 \cdot 10^7 \pi t - \frac{2\pi}{15} x) \text{ (S.I.)}$$

$$k = \frac{2\pi}{15} \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

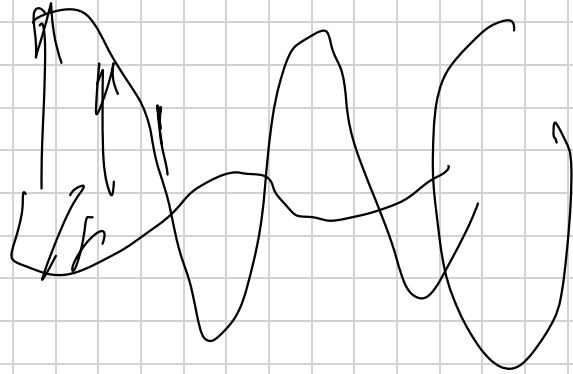
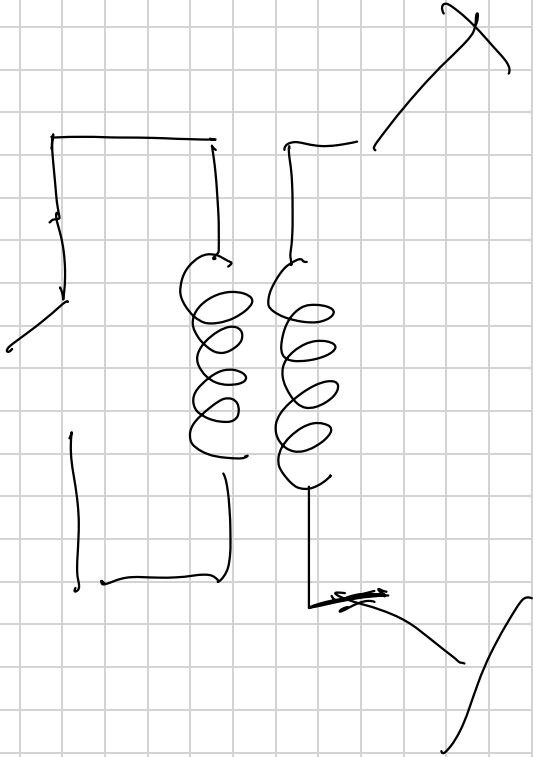
$$\vec{E} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \cos(4 \cdot 10^7 \pi t - \frac{2\pi}{15} x) \vec{e}_y \text{ (S.I.)}$$

$$c = \frac{E}{B}$$

$$c = \frac{E_0}{B_0}$$

$$B = 10^{-11} \cdot \cos(4 \cdot 10^7 \pi t - \frac{2\pi}{15} x) \vec{e}_z \text{ (S.I.)}$$

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{c} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^8} = 10^{-11} \text{ T}$$



8.- EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

pag 158

Pregunta muy importante.

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

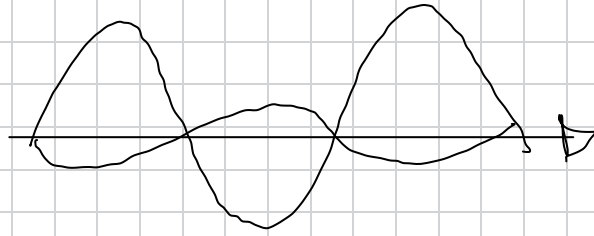
$$c = \lambda \cdot \frac{1}{T} = \lambda \cdot f$$

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ en
cualquiera O.E.M
en el vacío

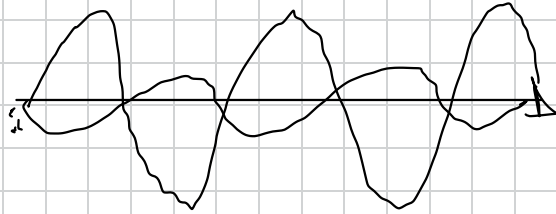
$$c = \lambda \cdot f \downarrow$$

$$\text{cte. } \left(\frac{c}{\lambda} = f \right) \cdot \lambda \downarrow$$

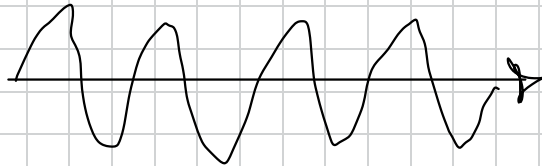
menor f



Ondas de radio, mayor λ



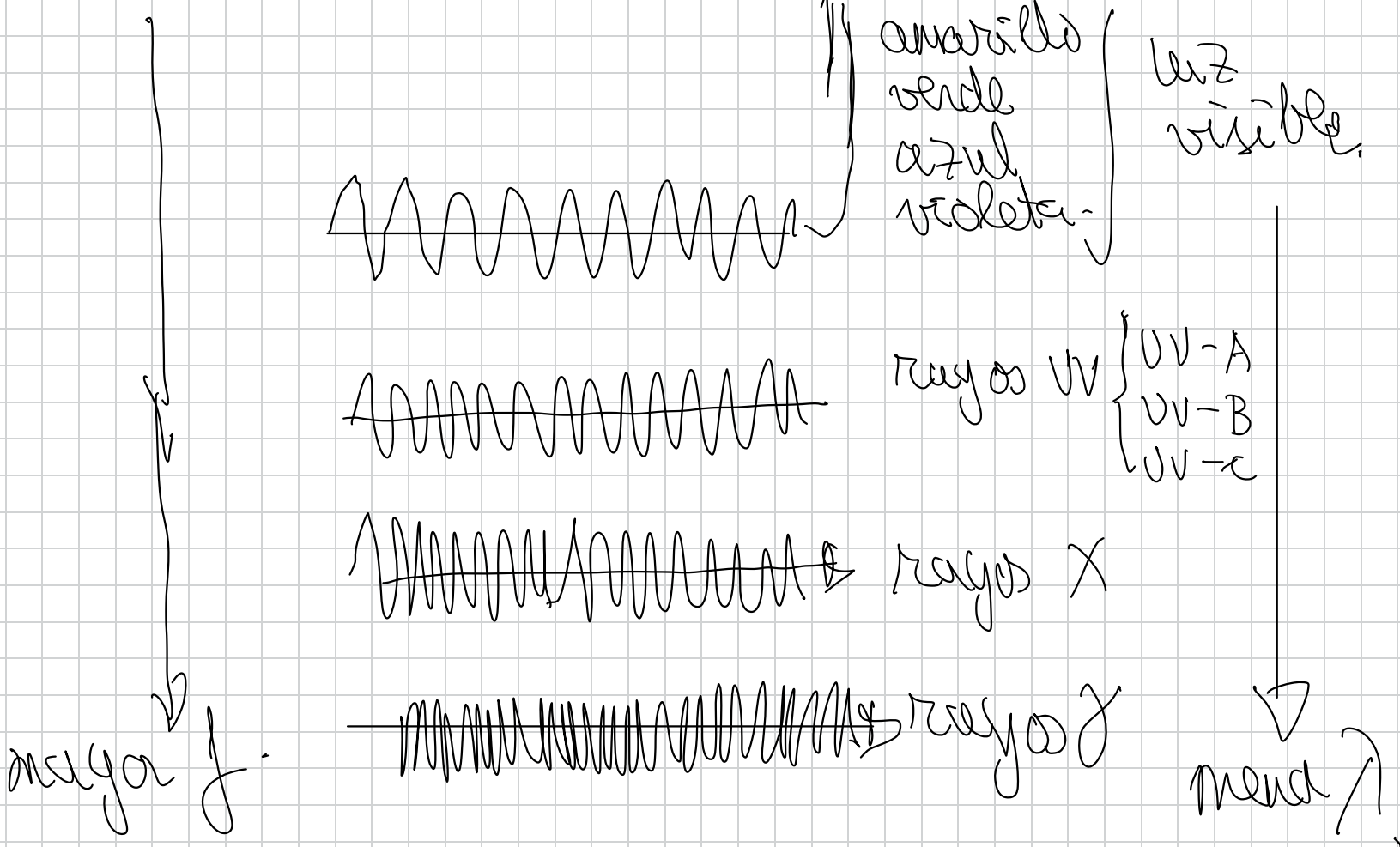
microondas



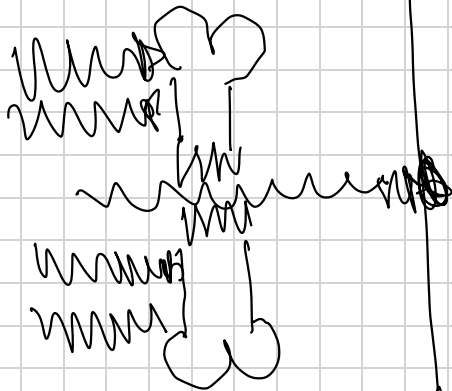
rayos IR



rojo
naranja



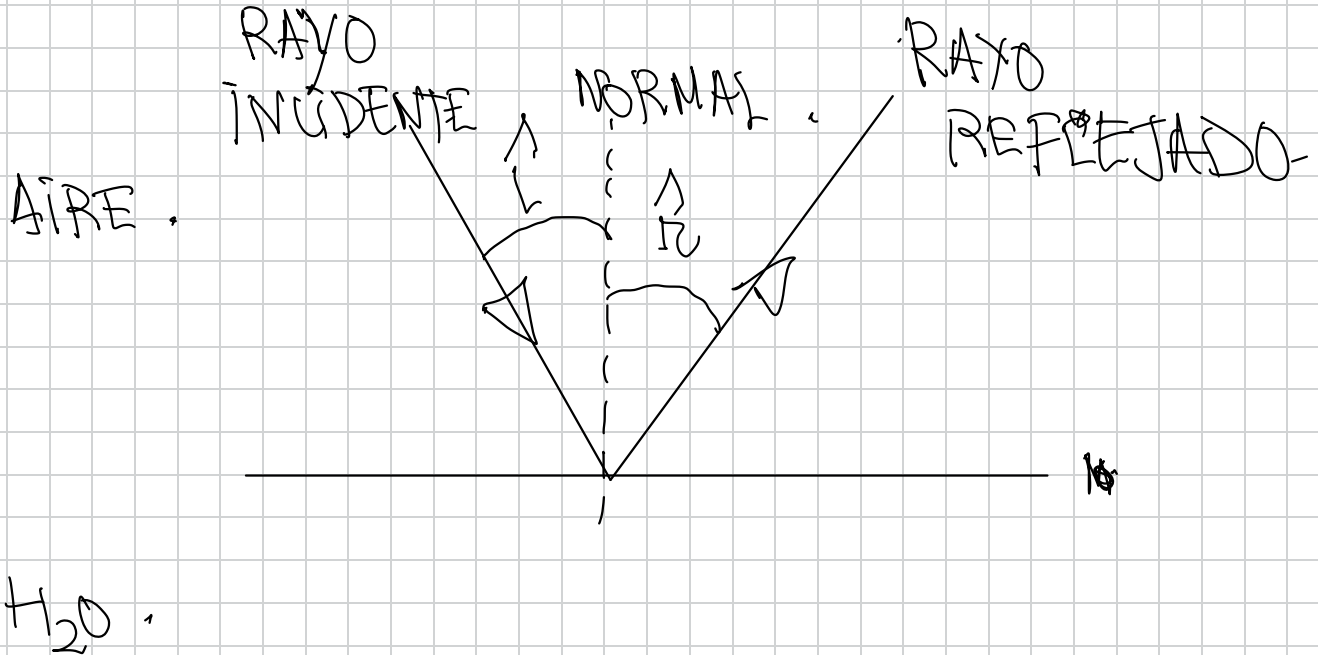
.....
~~~~~



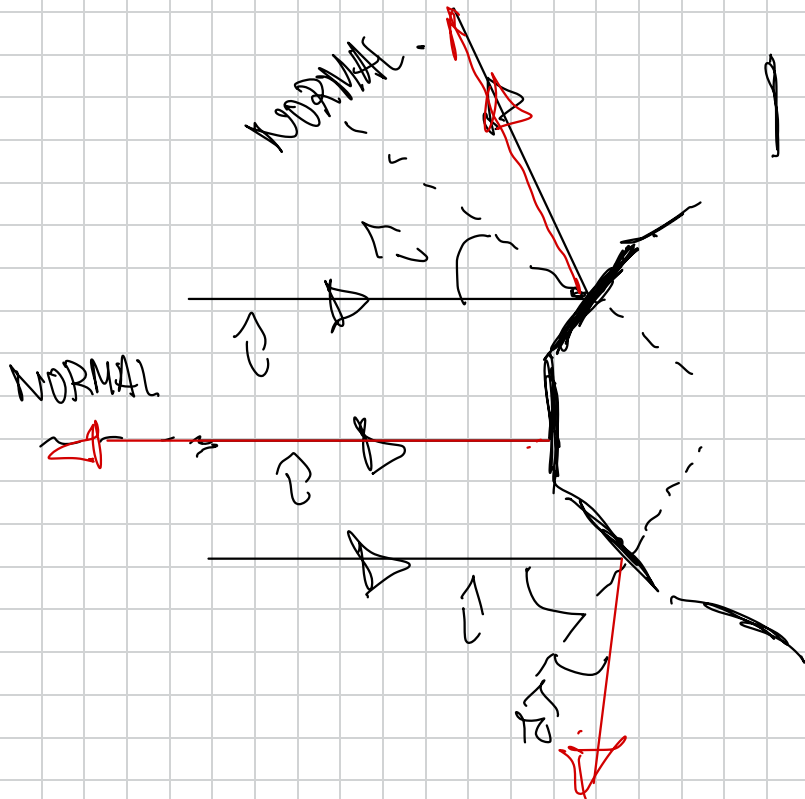
~~~~~

pag 16 d

Q: Reflexión de las ondas

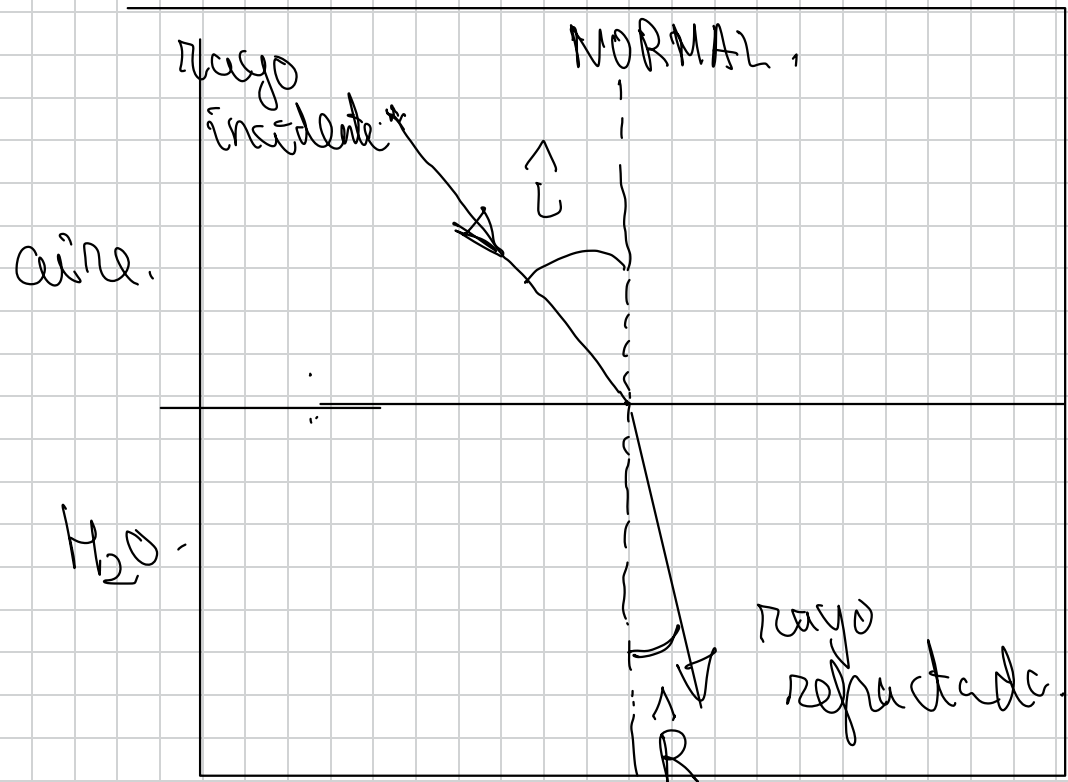


$\vec{v} = \vec{v}$



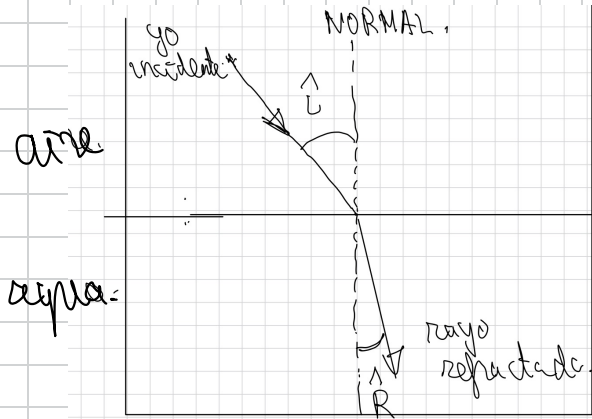
10.- REFRACCIÓN DE LAS ONDAS

pag 162



Ley de Snell

$$C = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$



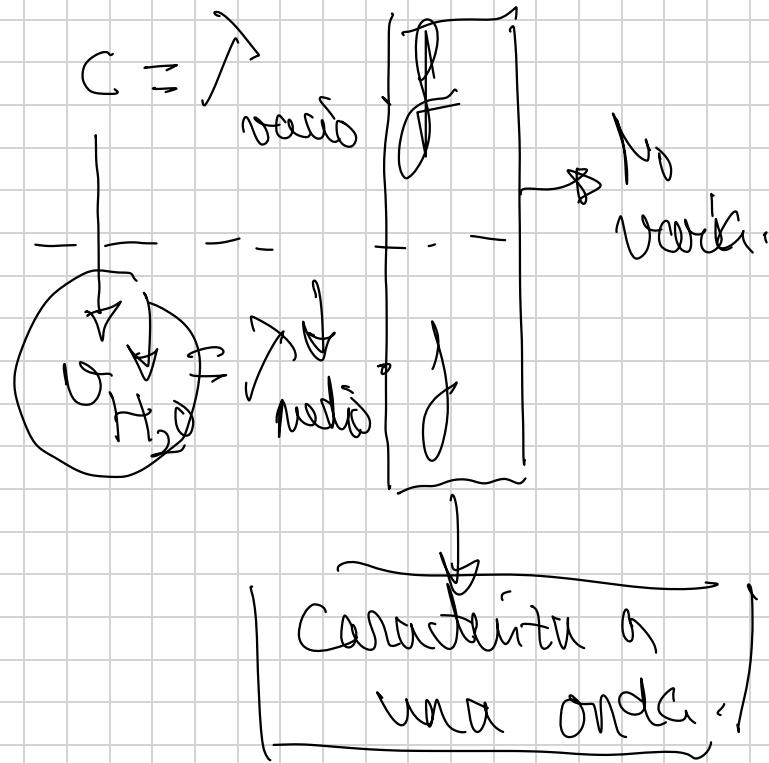
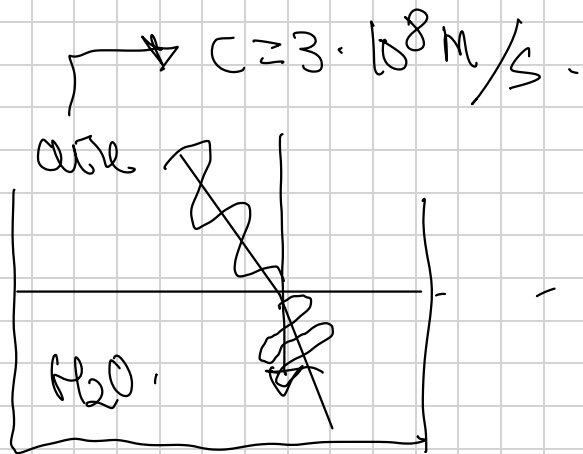
$$n_{\text{aire}} = \frac{C}{C} = 1$$

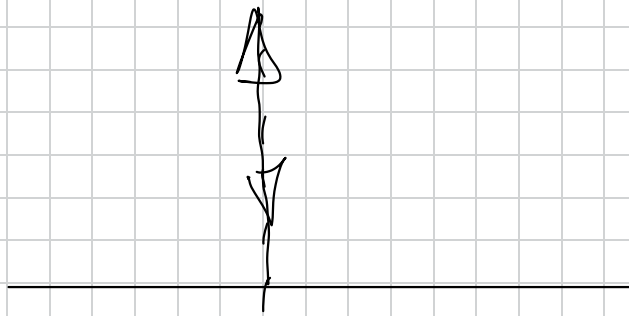
$$C > v_{H_2O}$$

$$n_{\text{agua}} = \frac{C}{v_{H_2O}} > 1$$

$$C > v_{H_2O}$$

$$n_{\text{aire}} \cdot \text{sen } i = n_{H_2O} \cdot \text{sen } R$$

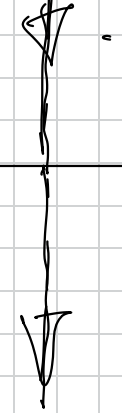




Luft

Wasser

NORMAL



$$N_{\text{Luft}} \cdot \sin \uparrow = N_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \sin \uparrow$$

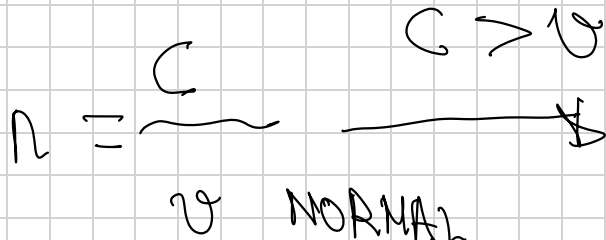
$$N_{\text{Luft}} \cdot \sin 0^\circ = N_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \boxed{\sin \uparrow}$$

\downarrow
 0

\downarrow
 0

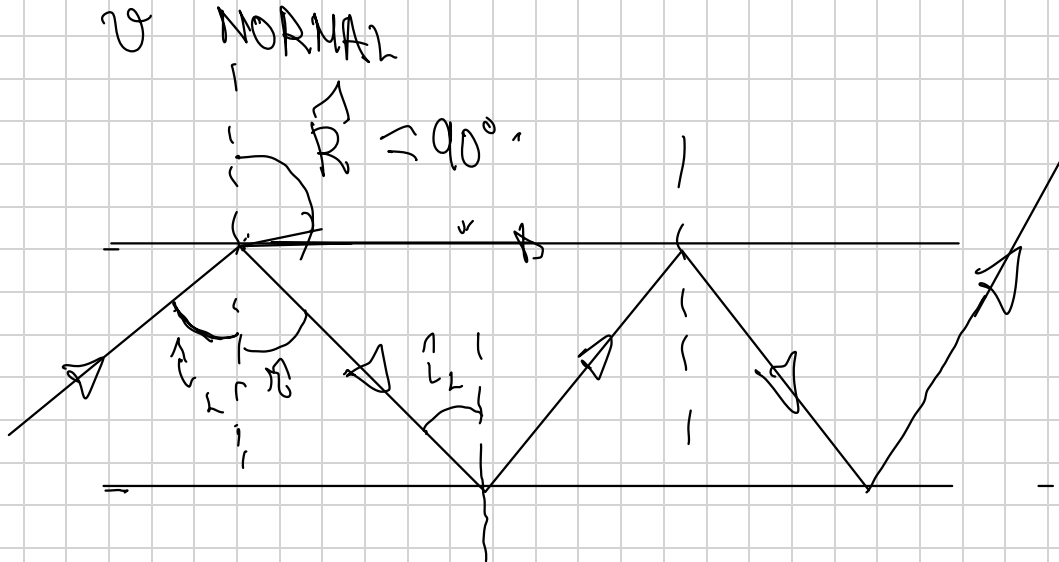
$$\sin \uparrow = 0$$

$$\uparrow = 0$$



Naive.

n_{fibra}



$n_{\text{fibra}} \cdot \text{sen } \alpha = n_{\text{ariz}} \cdot \text{sen } R$

$n_{\text{fibra}} \cdot \text{sen } \alpha = n_{\text{ariz}} \cdot \text{sen } 90^\circ$

ângulo limite

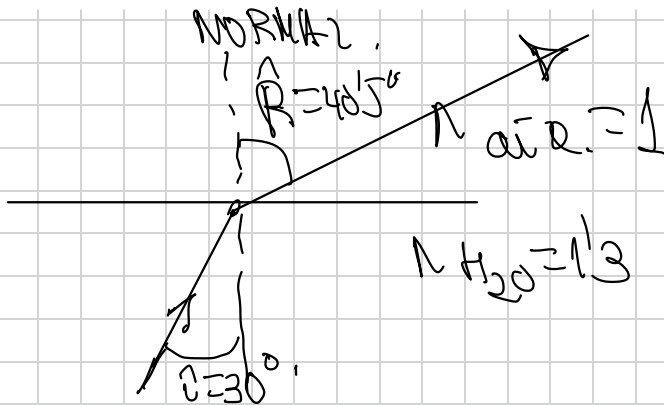
Ángulo límite de refracción
o ángulo de reflexión total -

48.- Un rayo de luz pasa del agua al aire con un ángulo de incidencia de 30°

a) Dibuje un esquema de los rayos incidente y refractado y calcule el ángulo de refracción

b) ¿cuál debería ser el ángulo de incidencia para que el rayo refractado fuera paralelo a la superficie de separación agua-aire?

Dato: índice de refracción del agua respecto al aire $n=1,3$



ley de Snell

$$n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{sen } i = n_{\text{aire}} \cdot \text{sen } R$$
$$1,3 \cdot \text{sen } 30^\circ = 1 \cdot \text{sen } R$$

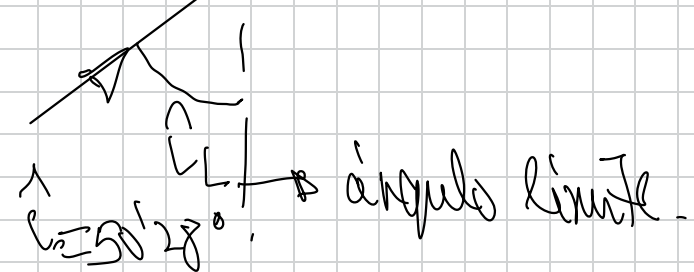


$$1/3 \cdot 0.5 = 1 \cdot \sin \hat{R}$$

$$\sin \hat{R} = 0.165$$

$$\hat{R} = \arcsin 0.165 = \boxed{40.5^\circ}$$

n_{H_2O}



$$n_{H_2O} \cdot \sin \hat{i}_L = n_{naire} \cdot \sin \hat{R}$$

$$1/3 \cdot \sin \hat{i}_L = 1 \cdot \sin 90^\circ$$

$$\sin \hat{i}_L = \frac{1}{1/3}$$

$$\hat{i}_L = \arcsin 1.77$$

$$\hat{i}_L = 50.3^\circ$$

49.- ¿Porqué al pasar la luz del aire al agua el rayo se acerca a la normal y en caso contrario se aleja?

Diagrama de refracción de la luz al pasar del aire al agua:

ley de Snell

$$n_{\text{aire}} \cdot \text{sen } i = n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{sen } r$$

$$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{aire}}}$$

$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{c}{v_{\text{H}_2\text{O}}}$
 $n_{\text{aire}} = \frac{c}{v_{\text{aire}}}$

$\frac{c}{v_{\text{H}_2\text{O}}} > \frac{c}{v_{\text{aire}}}$

$\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} > 1$

$i > r$

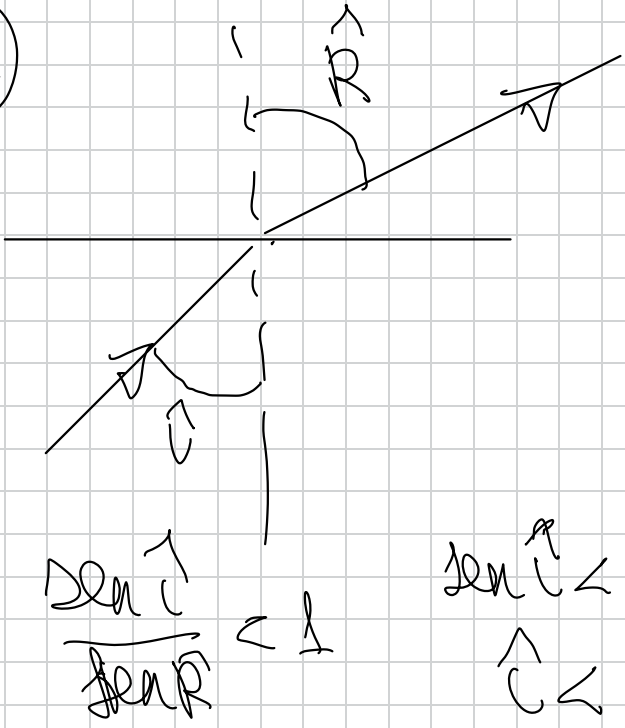
$$\sin i > \sin r$$

$$\left[\begin{array}{l} i > r \end{array} \right]$$

naire

V

n_{H_2O}



ley de Snell.

$$n_{H_2O} \cdot \sin i = n_{aire} \cdot \sin r$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_{aire}}{n_{H_2O}}$$

$$n_{aire} = \frac{c}{v}$$

$$n_{H_2O} = \frac{c}{v'} > 1$$

$$c > v$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} < 1$$

$$\sin i < \sin r$$

$$i < r$$

50.- Un rayo de luz amarilla, emitida por una lámpara de sodio, tiene una longitud de onda en el vacío de $580 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

a) Determine la velocidad de propagación y la longitud de onda de dicha luz en el interior de una fibra de cuarzo, cuyo índice de refracción es $n=1,5$

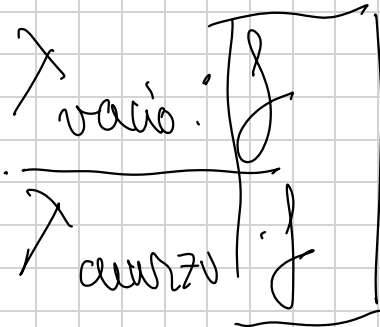
b) ¿Pueden existir valores del ángulo de incidencia para los que un haz de luz, que se propaga por el interior de una fibra de cuarzo, no salga al exterior?. Explique el fenómeno y, en su caso, calcule los valores del ángulo de incidencia para los cuales tiene lugar.

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

a)

$$n_{\text{cuarzo}} = 1,5$$

$$n_{\text{cuarzo}} = \frac{c}{v_{\text{cuarzo}}}$$

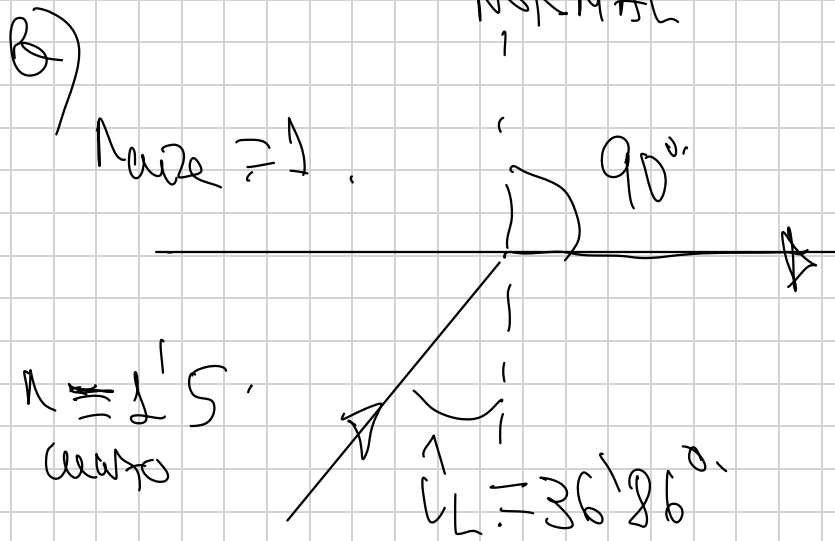


$$n_{\text{cuanto}} = \frac{\lambda_{\text{radio}}}{\lambda_{\text{cuanto}}} \approx 580 \cdot 10^9 \text{ m}$$

$$\lambda_{\text{cuanto}} = \frac{\lambda_{\text{radio}}}{n_{\text{cuanto}}} = \frac{580 \cdot 10^9 \text{ m}}{1.5} = 386 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$v_{\text{cuanto}} = \frac{c}{n_{\text{cuanto}}} \quad v_{\text{cuanto}} = \frac{c}{1.5} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$\boxed{v_{\text{cuanto}} = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}}$$



$i \geq 36.86^\circ$ no e da
la superficie

legge di Snell

$$n_{\text{cristallo}} \cdot \sin i_L = n_{\text{aria}} \cdot \sin 90^\circ$$

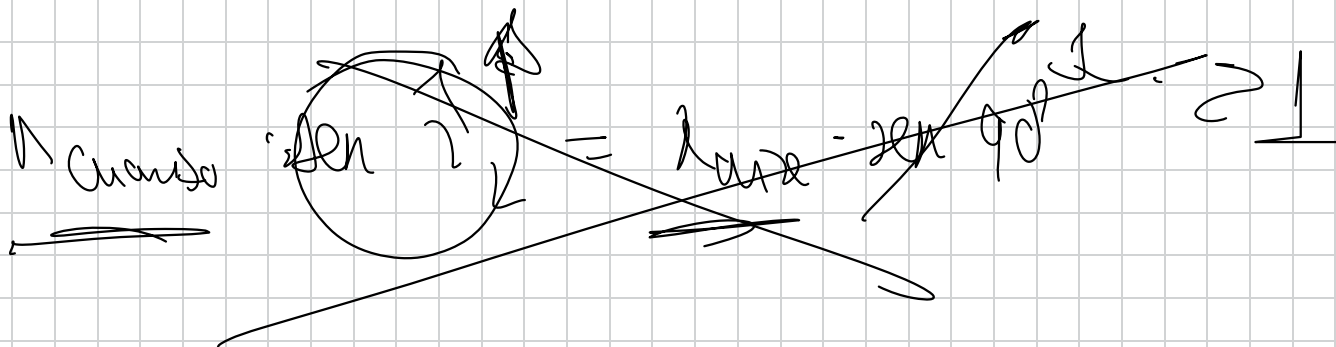
$$1.5 \cdot \sin i_L = 1 \cdot 1$$

$$\sin i_L = \frac{1}{1.5}$$

$$\sin i_L = 0.6$$

$$i_L = \arcsin 0.6$$

$$i_L = 36.86^\circ$$



51.- El espectro visible en el aire está comprendido entre las longitudes de onda 380 nm (violeta) y 780 nm (rojo).

a) Calcule las frecuencias de estas radiaciones extremas. ¿Cuál de ellas se propaga a mayor velocidad?

b) Determine entre qué longitudes de onda está comprendido el espectro visible en el agua, cuyo índice de refracción supondremos que es el mismo para ambas radiaciones (4/3)

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s. (vacío)}$$

a)

$$c = \lambda \cdot f$$

$$3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

mismas \leftarrow en el
velocidad. vacío

$$c = \lambda_{\text{rojo}} \cdot f_{\text{rojo}}$$

$$f_{\text{rojo}} = \frac{c}{\lambda_{\text{rojo}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{780 \cdot 10^{-9}} = 387 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

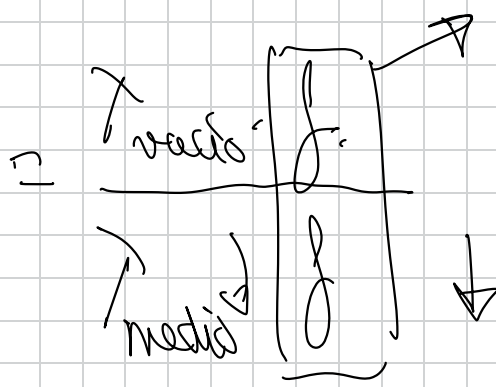
$$c = \lambda_{\text{violeta}} \cdot f_{\text{violeta}}$$

$$f_{\text{violeta}} = \frac{c}{\lambda_{\text{violeta}}} = \frac{3 \cdot 10^8}{380 \cdot 10^{-9}}$$

$$f_{\text{violeta}} = 789 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

b)

$$n \approx \frac{C}{H_2O} \downarrow \downarrow U_{H_2O}$$



no varia f al pasar de un medio a otro es lo que caracteriza a la radiación.

$$n_{H_2O} = \frac{\lambda_{vacio}}{\lambda_{agua}}$$

$$n_{H_2O} = \frac{\lambda_{vacio}}{\lambda_{agua}}$$

$$\lambda_{agua} = \frac{\lambda_{vacio}}{n_{H_2O}}$$

$$\lambda_{\text{agua}} = \frac{780 \cdot 10^{-9}}{4/3} = 585 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$$

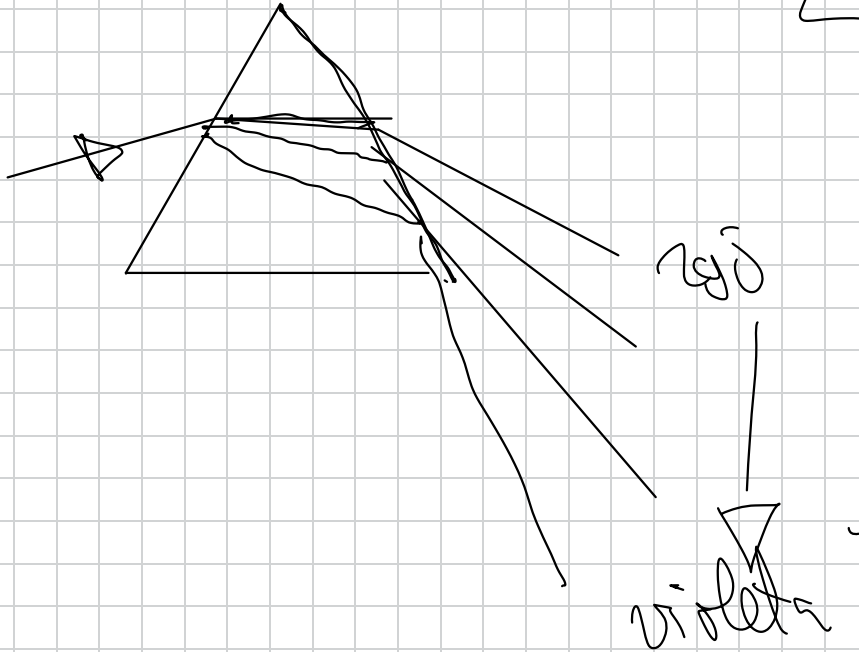


$$\lambda_{\text{violeta H}_2\text{O}} = \frac{\lambda_{\text{violeta ~~violeta~~ ^{violeta} ~~violeta~~}}{n_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{380 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{4/3} \Rightarrow \lambda_{\text{violeta H}_2\text{O}} = 285 \cdot 10^{-9} \text{ m.}$$

11.- DISPERSIÓN DE LA LUZ

pag 163.

$$n \cdot \sin \hat{a} = n \cdot \sin \hat{R}$$



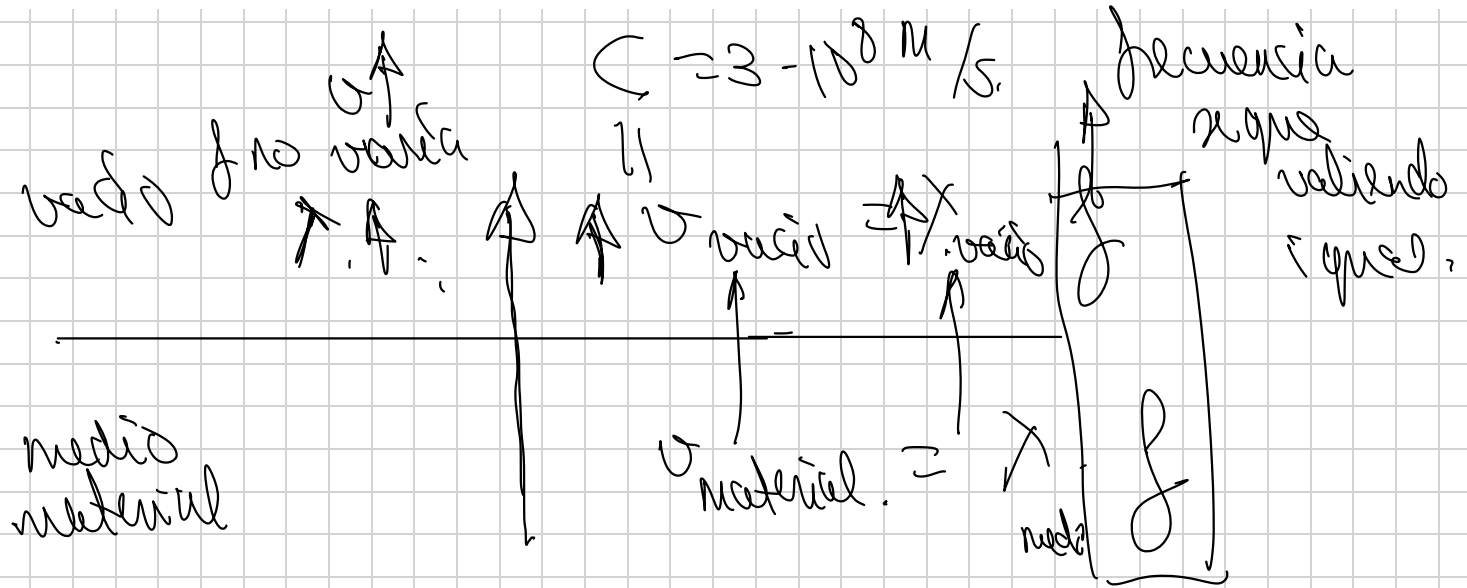
$$n_{\text{rot}} = 1,33$$

$$n_{\text{orange}} = 1,34$$

$$n_{\text{gelb}} = 1,37$$

$$n_{\text{violett}} = 1,39$$

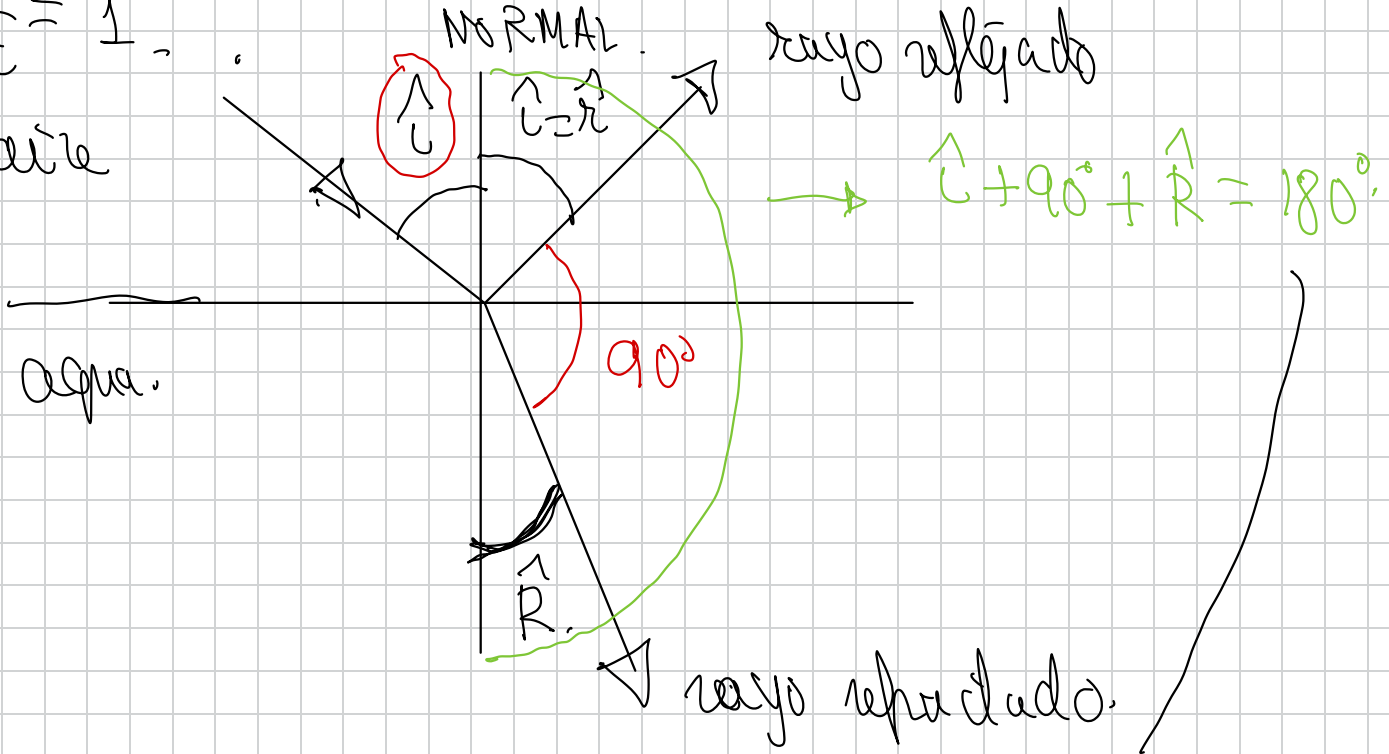
52.- Cuando la luz pasa de un medio material al vacío, indique cuáles de las siguientes magnitudes: frecuencia, longitud de onda, y velocidad se modifican y en qué sentido.



55.- Un rayo de luz monocromática que se propaga por el aire incide sobre una superficie de agua. Determina el ángulo de incidencia para el cual el rayo reflejado es perpendicular al rayo refractado. Dato: $n_{\text{agua}}=1,33$

$$n_{\text{aire}} = \frac{c}{c} = 1$$

vacío. aire



ley de Snell.

$$n_{\text{aire}} \cdot \sin \hat{1} = n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \sin \hat{R}$$

$$\hat{R} = 180^\circ - 90^\circ - \hat{1}$$
$$\hat{R} = 90^\circ - \hat{1}$$

$$n_{\text{aire}} \cdot \sin \hat{1} = n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \sin(90^\circ - \hat{1})$$

$$1 \cdot \sin \hat{1} = 1,33 \cdot \cos \hat{1} \quad \rightarrow \quad \sin(90^\circ - \hat{1}) = \cos \hat{1}$$

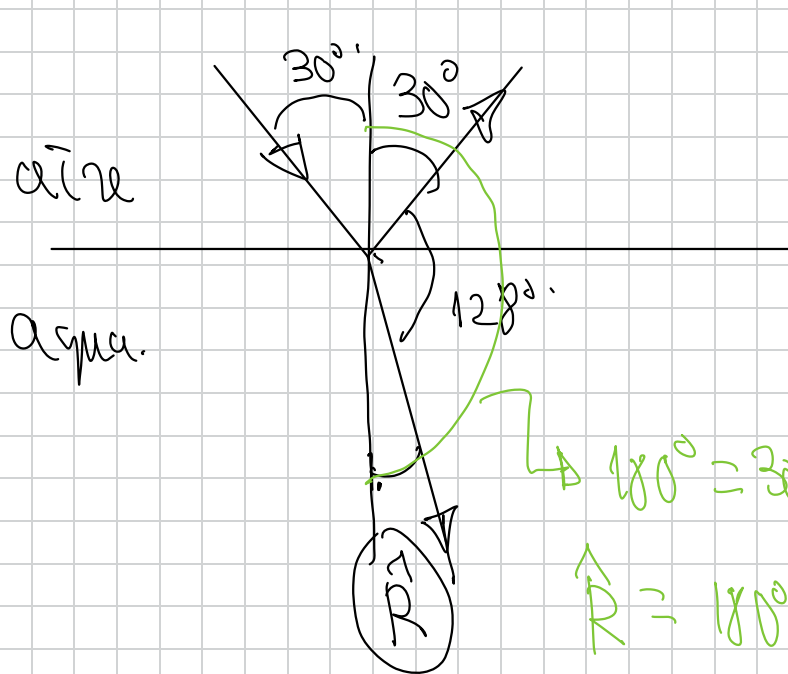
$$\frac{\sin \hat{1}}{\cos \hat{1}} = 1,33$$

$$\text{tg } \hat{1} = 1,33$$

$$\hat{1} = \arctg 1,33$$

$$\hat{1} = 53^\circ 06'$$

58.- Un rayo incide sobre el agua con un ángulo de incidencia de 30° . Sabiendo que el ángulo que forman el rayo reflejado y refractado es de 128° , calcular el índice de refracción del agua.



$$n_{\text{aire}} \cdot \sin i = n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \sin R$$
$$1 \cdot \sin 30^\circ = n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \sin 22^\circ$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1}{3}$$

$$\Delta 180^\circ = 30^\circ + 128^\circ + R$$

$$R = 180^\circ - 30^\circ - 128^\circ$$

$$R = 22^\circ$$

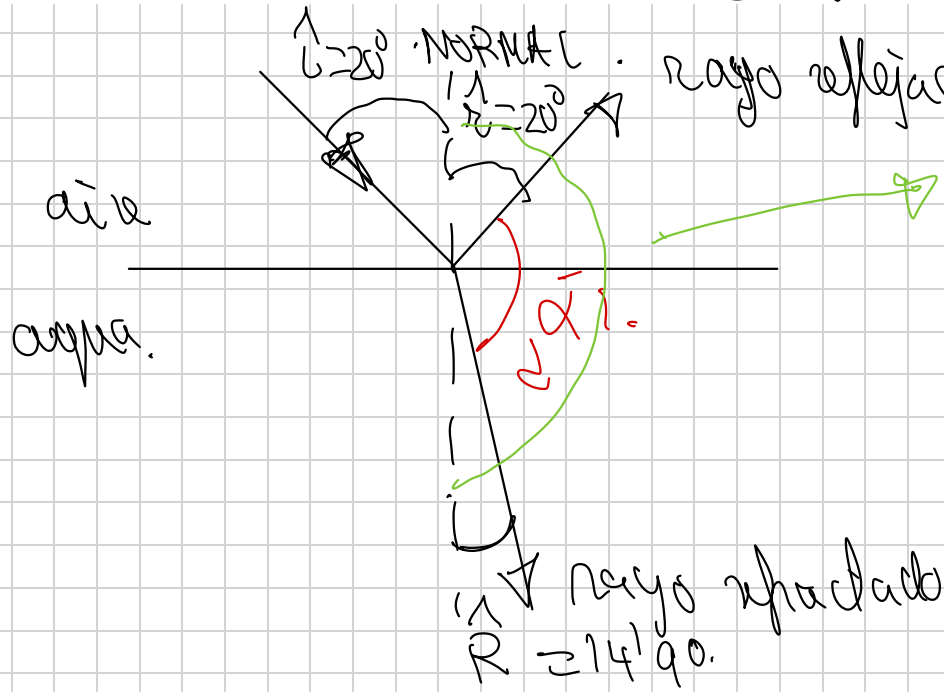
73.- Un rayo luminoso que se propaga en el aire incide sobre el agua de un estanque formando un ángulo de 20° con la normal.

a) ¿Qué ángulo formarán entre si los rayos reflejado y refractado?

b) Variando el ángulo de incidencia, ¿Podría producirse el fenómeno de reflexión total? Razone la respuesta.

$$n_{\text{aire}}=1 ; n_{\text{agua}}=1,33$$

No se da la refracción.
(Como límite de reflexión)



$$20^\circ + \alpha + R = 180^\circ$$

$$20^\circ + \alpha + 14'90'' = 180^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - 20^\circ - 14'90''$$

$$\alpha = 145'10''$$

les Snell punkt
calculated.

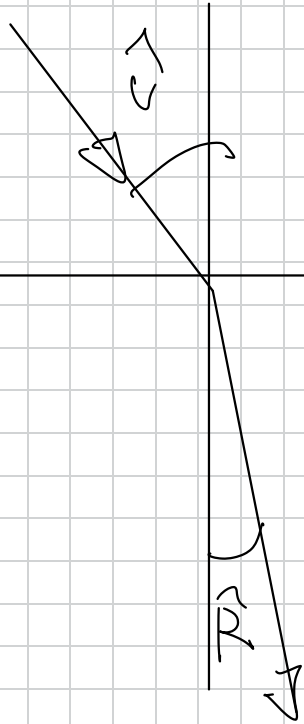
$$n_{\text{air}} \cdot \sin \hat{\uparrow} = n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \sin \hat{\uparrow}_R$$

$$1 \cdot \sin 20^\circ = 1.33 \cdot \sin \hat{\uparrow}_R$$

$$\hat{\uparrow}_R = 14.9^\circ$$

aire

H_2O



$L > R$

$R > L$

R no puede ser 0^2

No se da el fundamento.