PROYECTO
SABER
HACER

6

Ondas electromagnéticas

SANTILLANA

Ondas electromagnéticas

6

PARA COMENZAR

- **¿Qué zona del cielo aparece más clara en la imagen?**

  Aparece más clara la zona del cielo que está en el interior del arcoíris.

- **Pon ejemplos de otras situaciones que permiten observar todos los colores que contiene la luz blanca. ¿Se produce refracción de la luz?**

  Por ejemplo, cuando hay una burbuja de jabón donde se refleja la luz, en la superficie de un disco compacto, en una mancha de aceite en el suelo.

ACTIVIDADES

1. Un radar emite una onda de radio de 6 · 10⁷ Hz.

a) ¿Qué diferencia existe entre esa onda y una onda sonora de la misma longitud de onda? Determina la frecuencia de esta última.

b) Si la onda emitida por el radar tarda $3 \cdot 10^{-6}$ s en volver al detector después de reflejarse en un obstáculo. ¿A qué distancia se encuentra el obstáculo?

Datos: $c = 3 \cdot 10^8$ m · s^{-1}; $v_{sonido} = 340$ m · s^{-1}.

a) La onda que emite el radar es una onda electromagnética. A diferencia de la onda sonora, la onda del radar es una onda transversal. Además, puede transmitirse en el vacío, y su velocidad de propagación es la velocidad de la luz, mientras que la onda sonora se propaga a una velocidad mucho menor. Por tanto, como la longitud de onda de ambas ondas es la misma, la frecuencia de la onda electromagnética es mucho mayor que la frecuencia de la onda sonora. Y entonces el periodo de la onda electromagnética será mucho menor que el periodo de la onda sonora.

La frecuencia de la onda sonora se calcula así:

$$v_{sonido} = \lambda \cdot f \rightarrow f = \frac{v_{sonido}}{\lambda}$$

La longitud de onda de la onda sonora es la misma que la de la onda de radar. Por tanto:

$$v_{sonido} = \lambda \cdot f \rightarrow f = \frac{v_{sonido}}{\lambda} = \frac{v_{sonido}}{\frac{c}{f_{radar}}} = \frac{v_{sonido} \cdot f_{radar}}{c} = \frac{340\ \text{m/s} \cdot 6 \cdot 10^7\ \text{Hz}}{3 \cdot 10^8\ \text{m/s}} = 68\ \text{Hz}$$

b) La distancia que recorre la onda es el doble de la distancia al obstáculo. Como la onda de radar se propaga a la velocidad de la luz:

$$c = \frac{2 \cdot d}{t} \rightarrow d = \frac{c \cdot t}{2} = \frac{3 \cdot 10^8\ \text{m/s} \cdot 3 \cdot 10^{-6}\ \text{s}}{2} = 450\ \text{m}$$

2. Un rayo de luz que viaja por el aire incide con un ángulo de 60° sobre una placa de ámbar. Si el ángulo de refracción es de 35°, calcula cuál debe ser la velocidad de propagación de la luz en el ámbar.

Dato: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

A partir del ángulo de refracción podemos calcular el índice de refracción en el ámbar. Aplicando la ley de Snell:

$$n_{aire} \cdot \text{sen}\ \hat{i} = n_{ámbar} \cdot \text{sen}\ \hat{r} \rightarrow n_{ámbar} = \frac{n_{aire} \cdot \text{sen}\ \hat{i}}{\text{sen}\ \hat{r}} = \frac{1 \cdot \text{sen}\ 60°}{\text{sen}\ 35°} = 1{,}51$$

Y a partir de este valor y de la definición del índice de refracción de un medio como el cociente entre el valor de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en ese medio, podemos conocer el valor de la velocidad de la luz en el ámbar:

$$v_{\text{ámbar}} = \frac{c}{n_{\text{ámbar}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1{,}51} = 1{,}99 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

3. Una lámpara de sodio emite luz amarilla por una fibra óptica de cuarzo cuyo índice de refracción es *n* = 1,4580. Si la longitud de onda de la luz en el vacío es 589 · 10⁻⁹ m, calcula la longitud de onda y la velocidad de propagación a través de la fibra óptica.

Dato: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

La velocidad de propagación a través de la fibra óptica se calcula fácilmente a partir de la definición del índice de refracción:

$$v_{\text{fibra}} = \frac{c}{n_{\text{fibra}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1{,}4580} = 2{,}058 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

La longitud de la onda de la luz en el vacío nos permite conocer la frecuencia en el vacío:

$$c = \lambda_{\text{vacío}} \cdot f_{\text{vacío}} \rightarrow f_{\text{vacío}} = \frac{c}{\lambda_{\text{vacío}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{589 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 5{,}09 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

La energía depende de la frecuencia. Y como la energía se conserva al pasar del vacío a la fibra, la frecuencia no cambiará. Por tanto, la frecuencia en la fibra es la misma que la frecuencia en el vacío, lo que nos permite conocer la longitud de onda de la onda en la fibra:

$$v_{\text{fibra}} = \lambda_{\text{fibra}} \cdot f_{\text{fibra}} \rightarrow \lambda_{\text{fibra}} = \frac{v_{\text{fibra}}}{f_{\text{fibra}}} = \frac{v_{\text{fibra}}}{f_{\text{vacío}}} = \frac{2{,}058 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{5{,}09 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = 4{,}04 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

4. Un rayo incide sobre la superficie de separación de dos medios, produciéndose reflexión y refracción. Si el ángulo de reflexión es de 30°, el de refracción de 40° y n_1 = 1,3, calcula el índice de refracción del segundo medio n_2. ¿Cuál debería ser el ángulo de incidencia para el que se produzca reflexión total?

Teniendo en cuenta que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, aplicamos la ley de Snell para conocer el índice de refracción del segundo medio:

$$n_1 \cdot \text{sen}\,\hat{i} = n_2 \cdot \text{sen}\,\hat{r} \rightarrow n_2 = \frac{n_1 \cdot \text{sen}\,\hat{i}}{\text{sen}\,\hat{r}} = \frac{1{,}3 \cdot \text{sen } 30^\circ}{\text{sen } 40^\circ} = 1{,}01$$

La reflexión total se produce cuando no hay rayo refractado; es decir, el ángulo límite corresponde al caso en que el ángulo de refracción es de 90°. Aplicamos de nuevo la ley de Snell:

$$n_1 \cdot \text{sen}\,\hat{i}_{\text{lím.}} = n_2 \cdot \text{sen } 90^\circ \rightarrow \text{sen}\,\hat{i}_{\text{lím.}} = \frac{n_2 \cdot \text{sen } 90^\circ}{n_1} = \frac{1{,}01 \cdot 1}{1{,}3} = 0{,}777 \rightarrow \hat{i}_{\text{lím.}} = 50{,}98^\circ$$

5. Un bloque de vidrio se sumerge en agua. Si los índices de refracción son n_{vidrio} = 1,50 y n_{agua} = 1,33, ¿cuál será el ángulo límite en la separación agua-vidrio?

Como en el caso anterior, aplicamos la ley de Snell particularizando para el caso en que el ángulo refractado es de 90°. Para el caso en que la luz pasa del agua al vidrio:

$$n_{\text{agua}} \cdot \text{sen}\,\hat{i}_{\text{lím.}} = n_{\text{vidrio}} \cdot \text{sen } 90^\circ \rightarrow \text{sen}\,\hat{i}_{\text{lím.}} = \frac{n_{\text{vidrio}} \cdot \text{sen } 90^\circ}{n_{\text{agua}}} = \frac{1{,}50 \cdot 1}{1{,}33} = 1{,}13 \rightarrow \text{ No existe } \hat{i}_{\text{lím.}}$$

Como la función trigonométrica seno no existe para valores mayores de 1, esto quiere decir que no existe un ángulo límite para esta situación, es decir, no se produce el fenómeno de la reflexión total. Esto ocurre porque la luz se desplaza desde un medio con un índice de refracción menor a un medio con un índice de refracción mayor.

Para el caso en que la luz pasa del vidrio al agua:

$$n_{\text{vidrio}} \cdot \text{sen } \hat{i}_{\text{lím.}} = n_{\text{agua}} \cdot \text{sen } 90^{\circ} \rightarrow \text{sen } \hat{i}_{\text{lím.}} = \frac{n_{\text{agua}} \cdot \text{sen } 90^{\circ}}{n_{\text{vidrio}}} = \frac{1{,}33 \cdot 1}{1{,}50} = 0{,}887 \rightarrow \hat{i}_{\text{lím.}} = 62{,}5^{\circ}$$

6. Un haz de luz se propaga por un medio material a una velocidad $v = 1{,}7 \cdot 10^8$ m · s^{-1} y pasa al aire. Calcula el ángulo a partir del cual se produce reflexión total.

Datos: $c = 3 \cdot 10^8$ m · s^{-1}; $n_{\text{aire}} = 1$.

Primero necesitamos conocer el índice de refracción del medio:

$$n = \frac{c}{v} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1{,}7 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1{,}765$$

Se produce reflexión total a partir del ángulo de incidencia que consigue que el ángulo de refracción sea de 90º. Por tanto:

$$n_1 \cdot \text{sen } \hat{i}_{\text{lím.}} = n_2 \cdot \text{sen } 90^{\circ} \rightarrow \text{sen } \hat{i}_{\text{lím.}} = \frac{n_2 \cdot \text{sen } 90^{\circ}}{n_1} = \frac{1 \cdot 1}{1{,}765} = 0{,}566 \rightarrow \hat{i}_{\text{lím.}} = 34{,}5^{\circ}$$

7. Un rayo se propaga por el aire y por un diamante cuyos índices de refracción son, respectivamente, 1,0 y 2,4. Justifica en cuál de dichos medios la luz irá con mayor velocidad, y de cuál de ellos debe partir la luz para que pueda tener lugar el fenómeno de reflexión total.

La luz irá con mayor velocidad por el aire. Cuanto mayor sea el índice de refracción de un medio, más despacio se mueve la luz por dicho medio.

Para que se produzca el fenómeno de la reflexión total la luz debe pasar de un medio a otro con un índice de refracción menor. Por tanto, debe pasar del diamante al aire.

8. Un haz de luz de $4{,}5 \cdot 10^{14}$ s^{-1} de frecuencia incide sobre un vidrio de anchura *d*. Si el ángulo que forma el haz incidente con la normal en el aire es de 30°, halla:

a) La longitud de onda del haz de luz en el aire y en el vidrio.

b) Los ángulos de refracción y reflexión del haz.

Datos: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s; $n_{\text{aire}} = 1{,}00$; $n_{\text{vidrio}} = 1{,}50$.

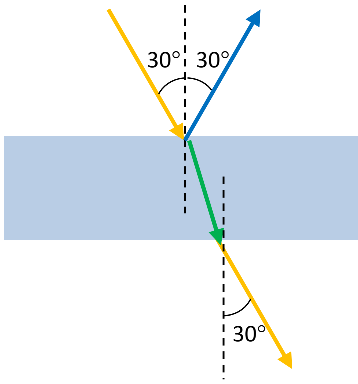
a) La longitud de onda en el aire se calcula fácilmente, pues sabemos cuál es la frecuencia:

$$c = \lambda_{\text{aire}} \cdot f_{\text{aire}} \rightarrow \lambda_{\text{aire}} = \frac{c}{f_{\text{aire}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{4{,}5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = 6{,}67 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

En el vidrio tiene la misma energía que en el aire. Por tanto, la frecuencia en el vidrio es la misma que la frecuencia en el aire.

$$v = \lambda_{\text{vidrio}} \cdot f_{\text{vidrio}} = \lambda_{\text{vidrio}} \cdot f_{\text{aire}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \lambda_{\text{vidrio}} = \frac{v}{f_{\text{aire}}} = \frac{c / n_{\text{vidrio}}}{f_{\text{aire}}} = \frac{\dfrac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1{,}50}}{4{,}5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = 4{,}44 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$



b) El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia. Por tanto, el rayo reflejado forma 30°° con la normal.

Al llegar al vidrio, el rayo de luz se refracta aproximándose a la normal. Pero tras atravesar el espesor del vidrio, se refracta de nuevo, en este caso alejándose de la normal en la misma cuantía en que antes se separó. Por tanto, el rayo refractado emerge del vidrio formando un ángulo de 30° con la normal.

9. **Un rayo de luz incide con un ángulo de incidencia de 30° sobre una lámina de vidrio de 4 cm de espesor. La velocidad de propagación de la luz dentro de la lámina es 2/3 la velocidad de la luz en el vacío. Calcula:**

a) El índice de refracción de la lámina.

b) El ángulo de refracción del rayo dentro de la lámina y el ángulo de refracción a la salida de la misma.

c) Dibuja la trayectoria seguida por el rayo dentro y fuera de la lámina.

Dato: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

a) Aplicando la definición del índice de refracción a la lámina de vidrio obtenemos:

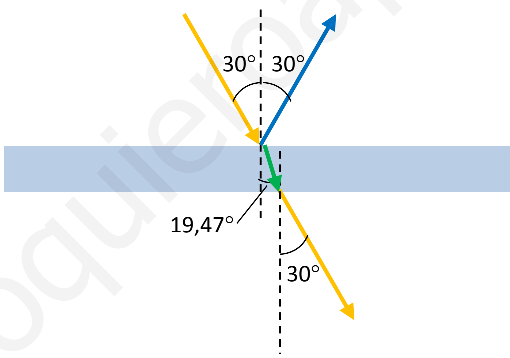
$$n = \frac{c}{v} = \frac{\cancel{c}}{2/3 \cdot \cancel{c}} = \frac{3}{2} = 1{,}5$$

b) El ángulo de refracción dentro de la lámina se calcula aplicando la ley de Snell, donde el medio 1 es el aire y el 2, el vidrio:

$$n_1 \cdot \text{sen}\,\hat{i} = n_2 \cdot \text{sen}\,\hat{r} \rightarrow \text{sen}\,\hat{r} = \frac{n_1 \cdot \text{sen}\,\hat{i}}{n_2} = \frac{1 \cdot \text{sen } 30°}{1{,}5} = 0{,}\widehat{3} \rightarrow \hat{r} = 19{,}47°$$

A la salida de la lámina el ángulo de refracción es igual al ángulo de incidencia porque al llegar al vidrio, el rayo de luz se refracta aproximándose a la normal. Pero tras atravesar el espesor del vidrio, se refracta de nuevo, en este caso alejándose de la normal en la misma cuantía en que antes se separó. Por tanto, el rayo refractado emerge del vidrio formando con la normal el mismo ángulo con el que incidió en la lámina, es decir, 30°.

c) Respuesta gráfica:



10. **Un haz de luz blanca incide desde el aire con un ángulo de 25° en una lámina de vidrio. Las longitudes de onda de las componentes azul y roja de la luz en el aire son, respectivamente, λ(azul) = 486 nm y λ(roja) = 656 nm.**

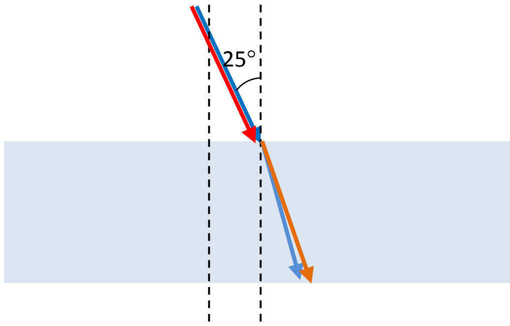
a) Haz un esquema de la trayectoria del haz de luz y calcula el ángulo que forman los rayos azul y rojo.

b) Indica, justificando la respuesta, si los rayos azul y rojo se propagan con la misma velocidad.

c) Calcula la frecuencia y la longitud de onda en el vidrio de la componente roja.

Datos: $c = 3 \cdot 10^8$ m · s^{-1}; $n_{\text{vidrio (azul)}} = 1{,}7$; $n_{\text{vidrio (rojo)}} = 1{,}61$.

a) Dibujamos un esquema de la situación. El índice de refracción es mayor para el rayo azul que para el rayo rojo porque el índice de refracción es inversamente proporcional a la longitud de onda y esta es menor para el rayo azul. Por tanto, como el rayo refractado se acerca más a la normal para el índice de refracción mayor:



Aplicamos la ley de Snell para color. Para la luz azul:

$$n_1 \cdot \text{sen}\, \hat{i} = n_{\text{azul}} \cdot \text{sen}\, \hat{r}_{\text{azul}} \rightarrow \text{sen}\, \hat{r}_{\text{azul}} = \frac{n_1 \cdot \text{sen}\, \hat{i}}{n_{\text{azul}}} = \frac{1 \cdot \text{sen } 25^\circ}{1{,}7} = 0{,}225 \rightarrow \hat{r}_{\text{azul}} = 14{,}45^\circ$$

Para la luz roja:

$$n_1 \cdot \text{sen}\, \hat{i} = n_{\text{roja}} \cdot \text{sen}\, \hat{r}_{\text{roja}} \rightarrow \text{sen}\, \hat{r}_{\text{roja}} = \frac{n_1 \cdot \text{sen}\, \hat{i}}{n_{\text{roja}}} = \frac{1 \cdot \text{sen } 25^\circ}{1{,}61} = 0{,}2377 \rightarrow \hat{r}_{\text{roja}} = 15{,}28^\circ$$

Por tanto, el ángulo que forman ambos rayos es:

$$\alpha = \hat{r}_{\text{roja}} - \hat{r}_{\text{azul}} = 15{,}28^\circ - 14{,}45^\circ = 0{,}82^\circ$$

b) Los rayos no se propagan a la misma velocidad, pues el índice de refracción depende del color.

La velocidad es inversamente proporcional al índice de refracción ($n = c/v$). Por tanto, el rayo rojo se propaga a mayor velocidad dentro de la lámina, pues el índice de refracción para la luz roja es menor que para la luz azul.

c) Al pasar del aire al vidrio la energía se conserva. Por tanto, la frecuencia de la luz roja será la misma en el aire y en el vidrio. Calculamos entonces la frecuencia de la luz roja:

$$c = \lambda_{\text{roja aire}} \cdot f_{\text{roja aire}} \rightarrow f_{\text{roja vidrio}} = f_{\text{roja aire}} = \frac{c}{\lambda_{\text{roja aire}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{656 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 4{,}57 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Entonces la longitud de onda de la luz roja en el vidrio será:

$$v_{\text{vidrio}} = \lambda_{\text{roja vidrio}} \cdot f_{\text{roja vidrio}} \rightarrow \lambda_{\text{roja vidrio}} = \frac{v}{f_{\text{roja vidrio}}} = \frac{c/n_{\text{roja}}}{f_{\text{roja vidrio}}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}/1{,}61}{4{,}57 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = 4{,}08 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

11. Para estudiar la separación entre dos rendijas en una lámina se utiliza un láser de helio-neón que emite una luz roja de 633 nm. Se ilumina la lámina con el láser y se recoge la interferencia en una pantalla situada a 1 m de la lámina. Se observa que el centro de la tercera banda brillante está 47 mm por encima del punto en que incidiría la luz del láser si no estuviese la lámina.

a) Calcula la separación entre las rendijas.

b) Determina la distancia a la que se encontrará el centro de la segunda y la cuarta banda brillante.

a) Cuando se producen interferencias debido al paso de la luz por dos rendijas podemos expresar el valor de la distancia entre las rendijas, d, de esta manera.

$$d = n \cdot \lambda \cdot \frac{L}{y}$$

En este caso $n = 3$, pues nos hablan de la tercera banda brillante. Sustituyendo los datos:

$$d = n \cdot \lambda \cdot \frac{L}{y} = 3 \cdot 633 \cdot 10^{-9}\ \text{m} \cdot \frac{1\ \text{m}}{0{,}047\ \text{m}} = 4{,}04 \cdot 10^{-5}\ \text{m} \simeq 0{,}04\ \text{mm}$$

b) De la expresión anterior podemos despejar la distancia y para cada caso:

$$d = 2 \cdot \lambda \cdot \frac{L}{y_2} \rightarrow y_2 = 2 \cdot \lambda \cdot \frac{L}{d} = 2 \cdot 633 \cdot 10^{-9}\ \text{m} \cdot \frac{1\ \text{m}}{4{,}04 \cdot 10^{-5}\ \text{m}} = 0{,}0313\ \text{m} = 31{,}3\ \text{mm}$$

$$d = 4 \cdot \lambda \cdot \frac{L}{y_4} \rightarrow y_4 = 4 \cdot \lambda \cdot \frac{L}{d} = 4 \cdot 633 \cdot 10^{-9}\ \text{m} \cdot \frac{1\ \text{m}}{4{,}04 \cdot 10^{-5}\ \text{m}} = 0{,}0627\ \text{m} = 62{,}7\ \text{mm}$$

12. Para determinar la longitud de onda de una radiación se la hace pasar por un orificio de 3 mm de diámetro y se recoge el resultado en una pantalla que se ha colocado a 1 m de distancia del orificio. En el centro se observa un disco luminoso que tiene una anchura de 4 mm. ¿Cuál es el valor de la longitud de onda?

En este caso se produce el fenómeno de la difracción. Podemos calcular la distancia del orificio a la que aparecen los mínimos dibujados por las franjas de difracción según esta expresión:

$$y = (2 \cdot n + 1) \cdot \frac{\lambda \cdot L}{a}$$

Donde a es la abertura del orificio.

El primer mínimo determina el límite de la zona central más brillante de la que habla el enunciado. La distancia al centro del orificio es la mitad del diámetro del disco luminoso central. Por tanto:

$$y_0 = (2 \cdot 0 + 1) \cdot \frac{\lambda \cdot L}{a} = \frac{\lambda \cdot L}{a} \rightarrow \lambda = \frac{y_0 \cdot a}{L} = \frac{0{,}002\ \text{m} \cdot 0{,}003\ \text{m}}{1\ \text{m}} = 6 \cdot 10^{-6}\ \text{m}$$

13. Razona acerca de la veracidad o falsedad de esta frase: «El uso de gafas polarizadoras modifica la intensidad de la luz que llega a nuestros ojos, pero no el color de los objetos que observamos».

Es verdadera. Al eliminar las componentes de la onda en alguna de las direcciones, la intensidad total de la onda disminuye, ya que se absorbe la intensidad correspondiente a estas componentes. Sin embargo, en todas las direcciones la luz vibra con la misma frecuencia, por lo que su color no variará.

14. Justifica si la siguiente afirmación es verdadera o falsa: «La luz es una onda electromagnética longitudinal».

Es falsa. La luz es una onda transversal, pues los campos eléctrico y magnético vibran en una dirección perpendicular a la del avance de la onda.

15. Las conexiones inalámbricas wifi de ordenador usan una frecuencia de 2,4 GHz. Una antena wifi tiene un tamaño de un cuarto de la longitud de onda. ¿Cuál es su tamaño en milímetros? Sabiendo que el tamaño de una antena de radio es proporcional a la longitud de onda, si tuviéramos una antena para recibir ondas de UHF para televisión digital terrestre de 800 MHz qué tamaño debería tener.

Datos: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

A partir del dato de la frecuencia es sencillo calcular la longitud de onda correspondiente:

$$c = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8\ \text{m/s}}{2{,}4 \cdot 10^9\ \text{Hz}} = 0{,}125\ \text{m}$$

Si el tamaño de la antena es un cuarto de la longitud de onda:

$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{0{,}125\ \text{m}}{4} = 0{,}03125\ \text{m} = 31{,}25\ \text{mm}$$

Para las ondas UHF:

$$c = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{800 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 0{,}375 \text{ m}$$

Por tanto, el tamaño de la antena sería en este caso:

$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{0{,}375 \text{ m}}{4} = 0{,}09375 \text{ m} = 93{,}75 \text{ mm}$$

16. Un haz de luz tiene una longitud de onda de 550 nm. A 5 m del foco, su intensidad luminosa es de 10 W/m².

a) Calcula la energía por segundo que emite ese haz.

b) Calcula la frecuencia de la onda de luz.

Dato: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

a) Si a esa distancia la intensidad vale lo que nos dice el enunciado, sabemos que la energía emitida por segundo es mayor, pues la energía se va dispersando a medida que nos alejamos del foco. La intensidad es la potencia por unidad de superficie y, la potencia, a su vez, es la energía por unidad de tiempo, por tanto:

$$I = \frac{E}{t \cdot S} \rightarrow \frac{E}{t} = I \cdot S = I \cdot 4\pi \cdot d^2 = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 4\pi \cdot (5 \text{ m})^2 = 3141{,}6 \text{ J/s}$$

b) La frecuencia se calcula fácilmente a partir de la longitud de onda.

$$c = \lambda \cdot f \rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{550 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 5{,}45 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

17. La intensidad media de la luz del Sol en la atmósfera terrestre es de 1390 W/m². ¿Cuál es el máximo de energía que puede captar un panel solar de 1,6 m × 0,80 m en cada hora?

La intensidad nos indica la cantidad de energía que llega por unidad de tiempo y por unidad de superficie.

La energía máxima que puede captar un panel se obtiene entonces multiplicando el valor de la intensidad por el tiempo transcurrido y por la superficie expuesta al sol:

$$E = I \cdot t \cdot S = 1390 \frac{\text{J}/\cancel{\text{s}}}{\cancel{\text{m}^2}} \cdot 1 \cancel{\text{h}} \cdot \frac{3600 \cancel{\text{s}}}{1 \cancel{\text{h}}} \cdot (1{,}6 \cancel{\text{m}} \cdot 0{,}80 \cancel{\text{m}}) = 6{,}4 \cdot 10^6 \text{ J}$$

18. El agua presenta un coeficiente de absorción para la luz roja ($\lambda = 700$ nm) de 0,60 m⁻¹, y para la luz azul-verdosa ($\lambda = 500$ nm) de 0,02 m⁻¹. Supón que un haz de luz blanca recorre un tubo largo recto lleno de agua.

a) ¿Qué distancia debe recorrer la luz para que la intensidad de la luz roja disminuya a la mitad?

b) ¿Qué distancia debe recorrer la luz para que la intensidad de la luz azul-verdosa disminuya a la mitad?

c) Teniendo en cuenta el resultado de los apartados anteriores, justifica el color del agua.

a) La intensidad va disminuyendo a medida que la luz se propaga por el agua según la siguiente expresión:

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

Si la intensidad disminuye a la mitad, podemos escribir, para la luz roja:

$$\frac{\cancel{I_0}}{2} = \cancel{I_0} \cdot e^{-\beta_{\text{roja}} \cdot x_{\text{roja}}} \rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\beta_{\text{roja}} \cdot x_{\text{roja}}} \rightarrow \ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln\left(e^{-\beta_{\text{roja}} \cdot x_{\text{roja}}}\right) \rightarrow \ln 1 - \ln 2 = -\beta_{\text{roja}} \cdot x_{\text{roja}} \rightarrow$$

$$\rightarrow -\ln 2 = -\beta_{\text{roja}} \cdot x_{\text{roja}} \rightarrow x_{\text{roja}} = \frac{\ln 2}{\beta_{\text{roja}}} = \frac{\ln 2}{0{,}60 \text{ m}^{-1}} = 1{,}155 \text{ m}$$

b) Procedemos análogamente para el caso de la luz azul-verdosa, que tiene un coeficiente de absorción menor que la luz verde:

$$x_{\text{azul-verdosa}} = \frac{\ln 2}{\beta_{\text{azul-verdosa}}} = \frac{\ln 2}{0{,}02\ \text{m}^{-1}} = 34{,}66\ \text{m}$$

c) Como se observa en los apartados anteriores, la luz roja es absorbida antes por el agua. Por este motivo, cuando llega al agua luz blanca, las componentes rojas se absorben más rápidamente y la luz azul se transmite una distancia mayor, lo que ofrece la sensación de que el agua es de color azul-verdoso.

19. Razona por qué la luz procedente de galaxias que se encuentran muy lejos está desplaza hacia el rojo.

Porque las galaxias se están separando de nosotros debido a la expansión del universo. Esto hace que podamos considerar que se mueven a cierta velocidad, alejándose, lo que hace que la longitud de onda de la luz que recibimos de ellas se estire, y por eso la observamos más roja de como fue emitida.

20. ¿Pueden tener la misma longitud de onda dos colores del espectro visible: rojo y azul, por ejemplo?

Sí, si cada uno se desplaza en un medio. Lo que determina el color es la frecuencia, de modo que podemos tener una misma longitud de onda y dos colores diferentes, si las ondas se desplazan por medios distintos.

21. Ordena de menor a mayor, según la longitud de onda en el vacío, las ondas electromagnéticas siguientes: luz visible, infrarrojos, rayos X, rayos gamma, ondas de radio.

Las ondas más energéticas son los rayos gamma. El orden correcto sería:

Rayos gamma > rayos X > visible > infrarrojos > ondas de radio

22. Completa en tu cuaderno.

«Los rayos **ultravioleta** se dividen en tres bandas: UV-A, UV-B y UV-C. La luz solar contiene radiación de estas bandas. Las radiaciones **UV-B** y **UV-C** son absorbidas por la capa de ozono de la atmósfera. Los rayos **UV-A** procedentes del Sol provocan el bronceado y los rayos **UV-B y UV-C** queman la piel».

23. Una onda electromagnética tiene en el vacío una longitud de onda de 4 · 10⁻⁷ m. Penetra en un medio material y su velocidad se reduce a 3*c*/4. Calcula:

a) La frecuencia y el número de onda en el vacío.

b) El índice de refracción del medio y la frecuencia y la longitud de onda de la onda en ese medio material.

Dato: $c = 3 \cdot 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

a) En el vacío podemos deducir su frecuencia a partir de su longitud de onda y su velocidad:

$$c = \lambda \cdot f \rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8\ \text{m/s}}{4 \cdot 10^{-7}\ \text{m}} = 7{,}5 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}$$

El número de onda es:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{4 \cdot 10^{-7}\ \text{m}} = \frac{\pi}{2} \cdot 10^7\ \text{m}^{-1} = 1{,}57 \cdot 10^7\ \text{m}^{-1}$$

b) El índice de refracción del medio material se calcula a partir del dato de la velocidad de propagación de la onda en él:

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\cancel{c}}{\frac{3}{4}\cancel{c}} = \frac{4}{3} = 1{,}\widehat{3}$$

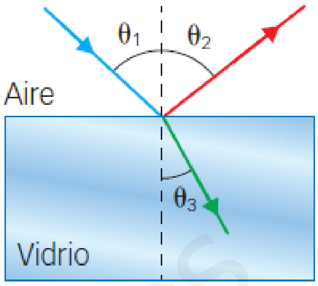
En el medio material la frecuencia de la onda es la misma que en el vacío:

$$f_{\text{medio}} = 7{,}5 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}$$

Ahora calculamos la nueva longitud de onda, pues la velocidad de propagación ha cambiado:

$$v = \lambda_{\text{medio}} \cdot f_{\text{medio}} \rightarrow \lambda_{\text{medio}} = \frac{v}{f_{\text{medio}}} = \frac{3c/4}{f_{\text{medio}}} = \frac{\frac{3 \cdot 3 \cdot 10^8\ \text{m/s}}{4}}{7{,}5 \cdot 10^{14}\ \text{Hz}} = 3 \cdot 10^{-7}\ \text{m}$$

24. Un rayo luminoso incide desde el aire con ángulo θ_1 sobre la cara superior de una lámina de vidrio. Parte de la luz se refleja en la superficie formando un ángulo θ_2, mientras que otra parte se refracta formando un ángulo θ_3.



a) El ángulo θ_2, ¿es mayor, menor o igual que θ_1? ¿Por qué?

b) Sabiendo que el índice de refracción del agua es mayor que el índice de refracción del aire, determina si es correcto el esquema donde se representa el ángulo θ_3 menor que θ_1.

a) El ángulo θ_2 es igual que el ángulo θ_1, puesto que la luz se refleja en la superficie de separación de ambos medios.

b) Sí es correcto, pues la luz pasa de un medio con un índice de refracción menor a otro con un índice de refracción mayor. El rayo se acerca a la normal, según se deduce de la ley de Snell:

$$n_1 \cdot \text{sen}\,\hat{i} = n_2 \cdot \text{sen}\,\hat{r} \rightarrow \text{sen}\,\hat{r} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \text{sen}\,\hat{i}$$

Si $n_2 > n_1$, entonces el ángulo de refracción es menor que el ángulo de incidencia.

25. Se dispone de una superficie de vidrio de índice de refracción 1,5, colocada sobre una superficie de agua de índice de refracción 1,3. ¿En qué casos se producirá una reflexión total en la interfaz de separación entre ambos medios?

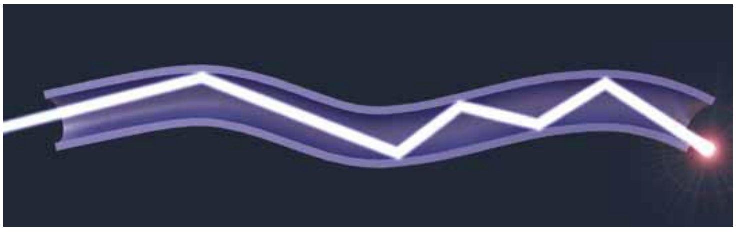
Se producirá reflexión total si se cumplen dos condiciones:

- Que la luz pase del medio con índice de refracción mayor al medio con índice de refracción menor. En este caso del vidrio al agua.
- Que el ángulo de incidencia sea mayor que cierto ángulo límite. Este ángulo límite es el correspondiente a un ángulo de refracción de 90º. Para calcularlo aplicamos la ley de Snell:

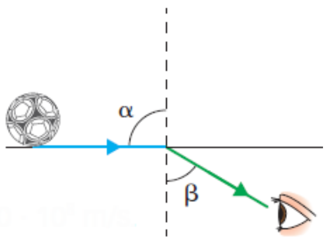
$$n_{\text{vidrio}} \cdot \text{sen}\,\hat{i}_{\text{lím.}} = n_{\text{agua}} \cdot \text{sen}\,90^\circ \rightarrow \text{sen}\,\hat{i}_{\text{lím.}} = \frac{n_{\text{agua}} \cdot \text{sen}\,90^\circ}{n_{\text{vidrio}}} = \frac{1{,}33 \cdot 1}{1{,}5} = 0{,}887 \rightarrow \hat{i}_{\text{lím.}} = 62{,}5^\circ$$

26. Las fibras ópticas son varillas delgadas de vidrio que permiten la propagación y el guiado de la luz por su interior, de forma que esta entra por un extremo y sale por el opuesto. Explica físicamente este fenómeno.

En la fibra óptica se produce el fenómeno de la reflexión total, de modo que la luz que entra por un extremo sufre sucesivas reflexiones dentro de la fibra hasta que sale por el otro extremo.



27. Determina el valor máximo del ángulo β de la figura, para que el buzo que se encuentra bajo el agua pueda ver una pelota que flota en la superficie.



Datos: $v_{\text{agua}} = 2{,}3 \cdot 10^8$ m/s; $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s.

En este caso el ángulo de incidencia es de 90°.

Aplicamos la ley de Snell en el paso del aire hacia el agua:

$$n_{\text{aire}} \cdot \text{sen}\,\hat{i} = n_{\text{agua}} \cdot \text{sen}\,\hat{r} \rightarrow \text{sen}\,\hat{r} = \frac{n_{\text{aire}} \cdot \text{sen}\,\hat{i}}{n_{\text{agua}}} = \frac{n_{\text{aire}} \cdot \text{sen}\,90^\circ}{\dfrac{c}{v_{\text{agua}}}} = \frac{1 \cdot 1}{\dfrac{3{,}0 \cdot 10^8\ \text{m/s}}{2{,}3 \cdot 10^8\ \text{m/s}}} = 0{,}7\widehat{6} \rightarrow \hat{r} = 50^\circ$$

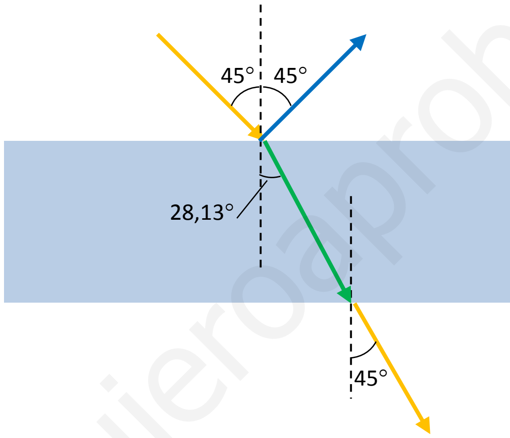
Por tanto, cuando el ángulo β sea mayor de 50° el buzo podrá ver la pelota.

28. Un haz de luz atraviesa una lámina de vidrio ($n_{\text{vidrio}} = 1{,}5$). El rayo incide con un ángulo de 45° respecto de la normal. Dibuja la trayectoria que sigue el rayo de luz.

Al entrar en la lámina de vidrio el rayo se refracta y su trayectoria se acerca a la normal ya que pasa a un medio con mayor índice de refracción del medio de incidencia. El ángulo de refracción se calcula aplicando la ley de Snell donde el medio 1 es el aire y el 2 el vidrio:

$$n_1 \cdot \text{sen}\,\hat{i} = n_2 \cdot \text{sen}\,\hat{r} \rightarrow \text{sen}\,\hat{r} = \frac{n_1 \cdot \text{sen}\,\hat{i}}{n_2} = \frac{1 \cdot \text{sen}\,45^\circ}{1{,}5} = 0{,}471 \rightarrow \hat{r} = 28{,}13^\circ$$

Respuesta gráfica:



29. Un rayo de luz incide desde el aire sobre una lámina de vidrio, formando 29º con la normal. El espesor de la lámina es de 2 cm. Determina:

a) El ángulo que forma el rayo refractado con la normal.

b) La velocidad de la luz mientras atraviesa la lámina.

c) El tiempo que tarda la luz en atravesar la lámina.

Datos: $n_{\text{aire}} = 1{,}0$; $n_{\text{lámina}} = 1{,}5$; $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

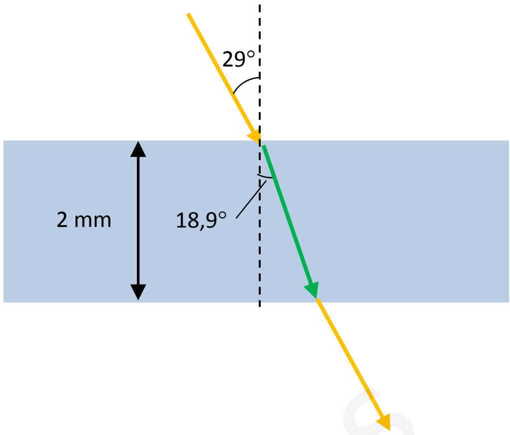
a) El rayo refractado se acerca a la normal. Calculamos el ángulo pedido a partir de la ley de Snell, donde el medio 1 es el aire y el medio 2 es el vidrio:

$$n_1 \cdot \text{sen}\,\hat{i} = n_2 \cdot \text{sen}\,\hat{r} \rightarrow \text{sen}\,\hat{r} = \frac{n_1 \cdot \text{sen}\,\hat{i}}{n_2} = \frac{1 \cdot \text{sen}\,29^\circ}{1{,}5} = 0{,}323 \rightarrow \hat{r} = 18{,}9^\circ$$

b) La velocidad de la luz se calcula a partir del índice de refracción:

$$n_2 = \frac{c}{v_2} \rightarrow v_2 = \frac{c}{n_2} = \frac{3 \cdot 10^8\ \text{m/s}}{1{,}5} = 2 \cdot 10^8\ \text{m/s}$$

c) Para calcular el tiempo que tarda en atravesar la lámina necesitamos saber qué distancia recorre dentro de la lámina. Dibujamos un esquema de la situación.



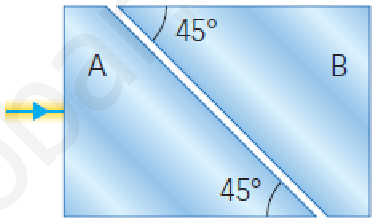
La distancia recorrida dentro de la lámina se puede determinar a partir del espesor de la lámina y del ángulo de refracción. En efecto, según el dibujo:

$$\cos 18{,}9^\circ = \frac{2\ \text{mm}}{d} \rightarrow d = \frac{2\ \text{mm}}{\cos 18{,}9^\circ} = 2{,}114\ \text{mm}$$

Ahora calculamos el tiempo necesario para recorrer dicha distancia dentro de la lámina:

$$v = \frac{d}{t} \rightarrow t = \frac{d}{v} = \frac{2{,}114\ \cancel{\text{mm}} \cdot \dfrac{1\ \text{m}}{10^3\ \cancel{\text{mm}}}}{2 \cdot 10^8\ \text{m/s}} = 1{,}06 \cdot 10^{-11}\ \text{s}$$

30. Tenemos dos prismas idénticos de índice de refracción 1,65 ligeramente separados. Un rayo láser incide perpendicularmente a la cara A. Determina si existirá luz emergente por la cara B, y realiza un diagrama del recorrido de los rayos si:



a) El espacio entre los prismas es aire ($n = 1$).

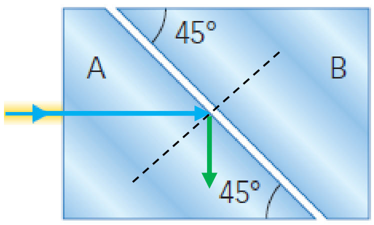
b) El espacio entre los prismas es agua ($n = 1{,}33$).

a) La luz entra en el primer prisma de manera perpendicular. Por tanto, su dirección no cambiará al pasar del aire al primer prisma.

Esto quiere decir que incidirá en la segunda cara del primer prisma con un ángulo de 45° respecto a la normal. Entonces el ángulo de refracción en el aire se puede calcular con la ley de Snell. Para el caso del aire:

$$n_{\text{prisma1}} \cdot \text{sen}\ \hat{i} = n_{\text{aire}} \cdot \text{sen}\ \hat{r} \rightarrow$$

$$\rightarrow \text{sen}\ \hat{r} = \frac{n_{\text{prisma1}} \cdot \text{sen}\ \hat{i}}{n_{\text{aire}}} = \frac{1{,}65 \cdot \text{sen}\ 45^\circ}{1} = 1{,}167$$

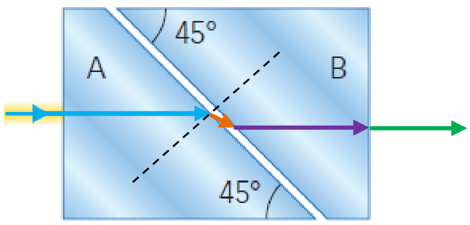


Por tanto, el rayo no pasará del primer prisma al aire, ya que se produce el fenómeno de la reflexión total y el rayo se refleja hacia el primer prisma.

b) Sin embargo, si el medio de separación es agua:

$$n_{\text{prisma1}} \cdot \text{sen}\ \hat{i} = n_{\text{agua}} \cdot \text{sen}\ \hat{r} \rightarrow$$

$$\rightarrow \text{sen}\ \hat{r} = \frac{n_{\text{prisma1}} \cdot \text{sen}\ \hat{i}}{n_{\text{agua}}} = \frac{1{,}65 \cdot \text{sen}\ 45^\circ}{1{,}33} = 0{,}877 \rightarrow \hat{r} = 61{,}3^\circ$$



Es decir, en este caso el rayo sí saldrá del primer prisma formando un ángulo de 61,3° con la normal.

Cuando vuelva a entrar en el segundo prisma de nuevo retomará la dirección inicial, e incidirá en la cara B con un ángulo de 0°.

Entonces, aplicando de nuevo la ley de Snell:

$$n_{\text{agua}} \cdot \text{sen}\ \hat{i} = n_1 \cdot \text{sen}\ \hat{r} \rightarrow$$

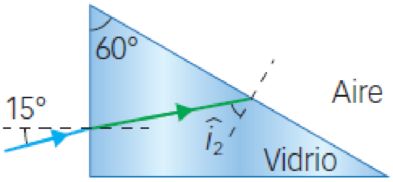
$$\rightarrow \text{sen}\ \hat{r} = \frac{n_{\text{agua}} \cdot \text{sen}\ \hat{i}}{n_1} = \frac{1{,}33 \cdot \text{sen}\ 0^\circ}{1{,}65} = 0 \rightarrow \hat{r} = 0^\circ$$

Es decir, el rayo no se desviará en la cara B. Saldrá por la cara B con la misma dirección y sentido que el rayo incidente en la cara A.

31. **Desde el aire (n_{aire} = 1,0) incide un rayo de luz sobre un prisma de vidrio (n_{vidrio} = 1,5) con un ángulo de incidencia de 15°. Determina.**

a) **El valor del ángulo $\hat{i}_2$.**

b) **Si se producirá el fenómeno de la reflexión total en la cara mayor del prisma.**

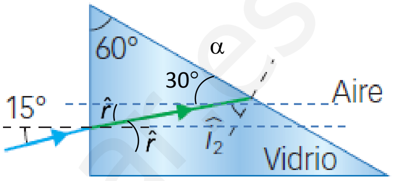


a) Al entrar en el prisma el rayo se refracta. Como pasa del aire a un medio con un índice de refracción mayor, se acerca a la normal. Aplicamos la ley de Snell para determinar el ángulo de refracción:

$$n_{aire} \cdot \text{sen } \hat{i} = n_{vidrio} \cdot \text{sen } \hat{r} \rightarrow \text{sen } \hat{r} = \frac{n_{aire} \cdot \text{sen } \hat{i}}{n_{vidrio}} = \frac{1 \cdot \text{sen } 15^\circ}{1,5} = 0,173 \rightarrow \hat{r} = 9,94^\circ$$

Entonces, del dibujo podemos deducir:

$$30^\circ + \hat{r} + \hat{i}_2 = 90^\circ \rightarrow \hat{i}_2 = 90^\circ - 30^\circ - \hat{r} = 90^\circ - 30^\circ - 9,94^\circ \simeq 50^\circ$$



Es decir, el rayo llega a la siguiente cara del prisma formando un ángulo de 50° con la normal.

b) Para que se produzca reflexión total en la cara del prisma el rayo debe incidir en ella con un ángulo mayor que el ángulo límite, que podemos calcular así:

$$n_{vidrio} \cdot \text{sen } \hat{i}_{lím.} = n_{aire} \cdot \text{sen } 90^\circ \rightarrow \text{sen } \hat{i}_{lím.} = \frac{n_{aire} \cdot \text{sen } 90^\circ}{n_{vidrio}} = \frac{1 \cdot 1}{1,5} = 0,\widehat{6} \rightarrow \hat{i}_{lím.} = 41,8^\circ$$

Por tanto, como el ángulo de incidencia en esa cara, i_2 (50°), es mayor que el ángulo límite (41,8°), sí se producirá reflexión total.

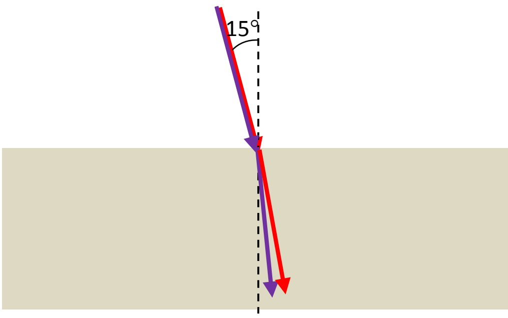
32. **Un haz de luz blanca incide desde el aire sobre una superficie de cuarzo fundido con un ángulo de incidencia de 15°. El cuarzo fundido tiene un índice de refracción que decrece con la longitud de onda de la luz. Para el extremo violeta n = 1,472, y para el extremo rojo n = 1,455.**

a) **¿Qué se refracta más, el rojo o el violeta? Haz un dibujo.**

b) **Calcula la separación angular en minutos de arco sexagesimal de los rayos refractados para los extremos rojo y violeta.**

a) Si el índice de refracción es mayor para el violeta, este color se refractará más.

Podemos representar la situación así:



b) La separación angular será la diferencia entre los ángulos de refracción para ambos colores.

Por tanto, para el rojo:

$$n_1 \cdot \text{sen } \hat{i} = n_{rojo} \cdot \text{sen } \hat{r}_{rojo} \rightarrow$$

$$\rightarrow \text{sen } \hat{r}_{rojo} = \frac{n_1 \cdot \text{sen } \hat{i}}{n_{rojo}} = \frac{1 \cdot \text{sen } 15^\circ}{1,455} = 0,178 \rightarrow \hat{r} = 10,25^\circ$$

Y para el violeta:

$$n_1 \cdot \text{sen}\,\hat{i} = n_{\text{violeta}} \cdot \text{sen}\,\hat{r}_{\text{violeta}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \text{sen}\,\hat{r}_{\text{violeta}} = \frac{n_1 \cdot \text{sen}\,\hat{i}}{n_{\text{violeta}}} = \frac{1 \cdot \text{sen}\,15^{\text{o}}}{1{,}472} = 0{,}176 \rightarrow \hat{r} = 10{,}13^{\text{o}}$$

Por tanto, la separación angular será:

$$\delta = 10{,}25^{\text{o}} - 10{,}13^{\text{o}} = 0{,}12^{\text{o}} = 7'\ 12''$$

33. Explica el fenómeno de la interferencia de ondas a partir del experimento de la doble rendija de Young. ¿Qué condiciones deben darse para que tenga lugar dicho fenómeno?

El experimento de la doble rendija de Young consiste en hacer pasar luz procedente de un único foco por una barrera con dos rendijas iguales y muy pequeñas separadas una distancia *d*. Según el principio de Huygens, cada rendija se comporta como un foco secundario de luz, que, al proceder del mismo foco inicial, serían focos coherentes.

Cuando se coloca una pantalla a una distancia *L*, mucho mayor que *d*, en ella se puede observar una interferencia debida a la diferencia entre los caminos seguidos por las dos ondas ($x_2 - x_1$). Esta diferencia de caminos es directamente proporcional a la distancia entre las rendijas y al seno del ángulo que forman los rayos con la horizontal.

Las condiciones son:

- Que la luz inicial proceda de un único foco.
- Que las rendijas sean muy pequeñas.
- Y que la distancia entre rendijas sea mucho menor que la distancia de estas a la pantalla.

34. ¿Qué es una onda polarizada? Explica la siguiente frase: «las ondas sonoras no se pueden polarizar».

Una onda polarizada es una onda que tiene una dirección de vibración determinada para el campo magnético y el campo eléctrico que se transmiten con la onda.

Las ondas sonoras no se pueden polarizar. Esto quiere decir que no podemos hacer que la onda que forma el sonido vibre en una determinada dirección. El sonido es una onda longitudinal que se propaga en todas direcciones.

35. Una onda de luz es polarizada por un polarizador A y un segundo polarizador B colocado a continuación del primero. Razona cuál de las siguientes afirmaciones sobre la luz tras atravesar los polarizadores es correcta.

a) No hay luz si A y B son paralelos entre sí.

b) No hay luz si A y B son perpendiculares entre sí.

c) Hay luz independientemente de la orientación de A y B.

a) Falsa. La luz polarizada por el polarizador A podrá pasar a través del B, pues los campos magnético y eléctrico vibrarán en una dirección que pasará a través del polarizador B, al ser paralelo al A.

b) Verdadero. En este caso la luz que sale del polarizador A vibra en una dirección que no puede atravesar el polarizador B, al ser perpendicular al A.

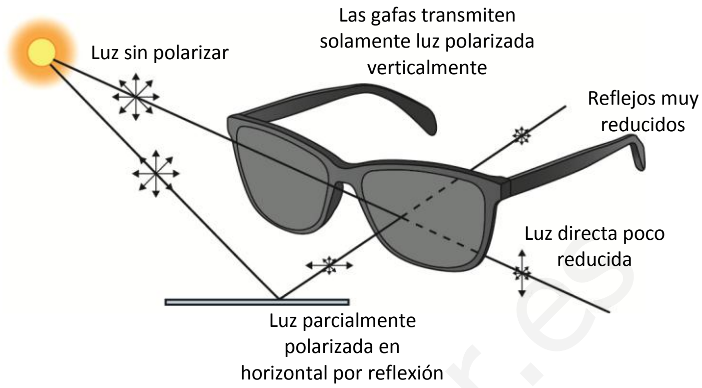
c) Falsa. En función de la orientación relativa de A y B, habrá luz o no a la salida de B.

FÍSICA EN TU VIDA

1. Explica con un esquema sencillo cómo reducen unas gafas de sol polarizadas la cantidad de luz que llega a los ojos de un conductor. ¿Por qué son más eficientes?

Las ondas electromagnéticas de luz que llegan a las gafas vibran en todas direcciones. Pero solamente una parte de estas ondas podrán atravesar las gafas: aquellas que vibren en la misma dirección en que está orientado el polarizador que forma el cristal de las gafas. Por tanto, se reduce la cantidad de luz que llega a los ojos de un conductor.

Porque no solamente filtran la luz mediante un cristal oscuro, sino que además no dejan pasar la luz reflejada que se ha polarizado.



2. Si nos situamos con gafas de sol en la entrada de un edificio con cristal tanto en el suelo como en una pared vertical, ¿qué veremos más oscuro, el suelo o la pared? ¿Por qué?

Veremos más oscuro el suelo. Esto es así porque la luz del Sol, al reflejarse en el suelo, queda polarizada horizontalmente, y las gafas polarizadas están polarizadas verticalmente. Cuando la luz se refleja en las paredes, la dirección de vibración de esta luz reflejada se aproxima más a la dirección en que está orientado el polarizador que forma las gafas.

3. No todas las gafas de sol son polarizadas. ¿Crees que los fabricantes deberían estar obligados a indicarlo en la publicidad del producto? ¿Por qué?

Respuesta personal. En principio, parece razonable pensar que el consumidor sepa cuáles son las características del producto, y más en este caso en el que la salud puede verse afectada, pues las gafas de sol protegen nuestros ojos en días muy soleados.