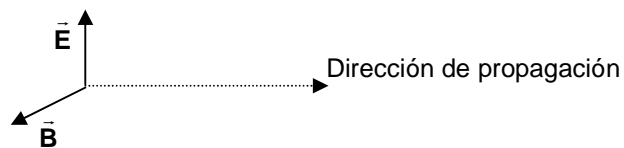


SOLUCIÓN ACTIVIDADES TEMA 8, NATURALEZA Y PROPAGACIÓN DE LA LUZ

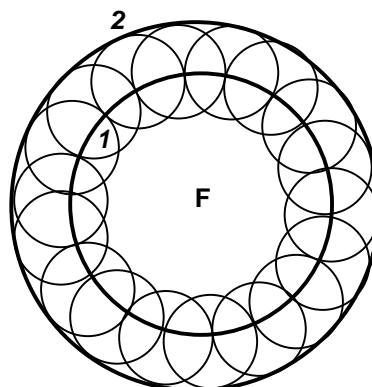
■ Cuestiones

- C1** El modelo de Newton es el corpuscular. Se basaba en considerar a la luz como un haz de numerosas partículas muy pequeñas e incontables, que emanaban de los cuerpos luminosos, las cuales eran reflejadas por los objetos, y que al penetrar en nuestros ojos estimulaban la sensación de la visión, por sus acciones sobre la retina.
- C2** No pues al ser un modelo de partículas, éstas pueden ser reflejadas o transmitidas pero no ambas cosas a la vez.
- C3** Maxwell reconoció en la luz las características de las ondas electromagnéticas, considerándolas formadas por un campo eléctrico \vec{E} variable con el tiempo, y otro campo magnético \vec{B} , también variable con el tiempo, que está formando un ángulo recto con el anterior.

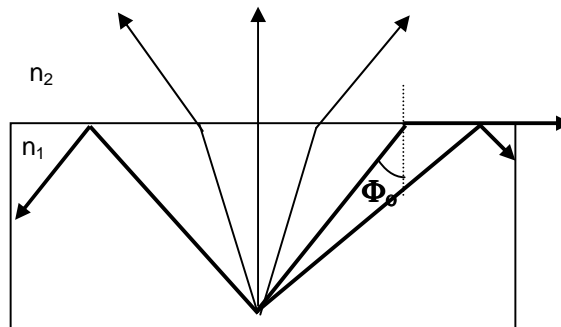


Las ondas electromagnéticas se propagan mediante vibraciones del campo electromagnético y no precisan ningún medio material para su propagación.

- C4** En 1905, Albert Einstein (1879-1955) le da una interpretación, suponiendo que la luz es emitida y se propaga mediante corpúsculos, (como partículas), transportando una cantidad determinada de energía, conocida como cuanto de luz o fotón y momento lineal.
- C5** El modelo actual acepta para la luz una doble naturaleza, la ondulatoria y la corpuscular, sin embargo, la experiencia ha demostrado que ningún experimento puede revelar a la vez ambas características, así que la luz muestra una u otra naturaleza, dependiendo del experimento a que es sometida.
En los fenómenos de difracción e interferencias muestra naturaleza ondulatoria. En los de interacción con la materia, efecto fotoeléctrico de corpúsculo
- C6** **De mayor a menos frecuencia se pueden clasificar en: Rayos γ , rayos X, radiación ultravioleta, radiación visible, radiación infrarroja y ondas hertzianas.**
- C7** Las ondas luminosas emitidas por un manantial luminoso, se pueden representar por superficies esféricas con el foco luminoso F, en su centro. Cada esfera está formada por puntos, que se encuentran en el mismo estado luminoso, se conoce como superficie de onda.
El nuevo frente de ondas **2** se construye por el principio de Huygens, trazando esferas elementales en cada punto del frente de ondas **1**, de forma que el nuevo frente **2** es la envolvente de todas las ondas elementales.

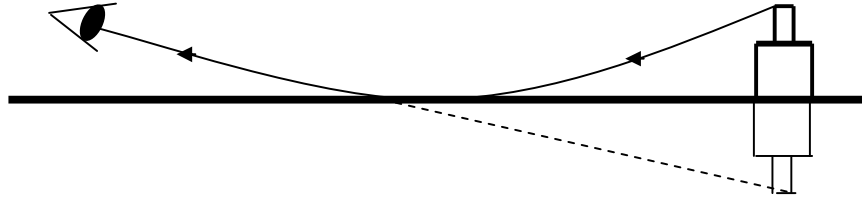


- C8** 1ª Ley. El rayo incidente, el reflejado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano.
2ª es la ley de Snell: $n_2 \text{ sen } \varepsilon_2 = n_1 \text{ sen } \varepsilon_1$
En el caso indicado en la cuestión, el rayo refractado se acerca más a la normal que el rayo incidente.
- C9** Para que pueda haber reflexión total, la luz deberá pasar del medio de mayor índice de refracción al medio de índice menor.
- C10** Para rayos que incidan formando con la normal un ángulo superior al ángulo límite Φ_0 , serán completamente reflejados al primer medio, que desde luego es de mayor índice de refracción que el segundo $n_1 > n_2$



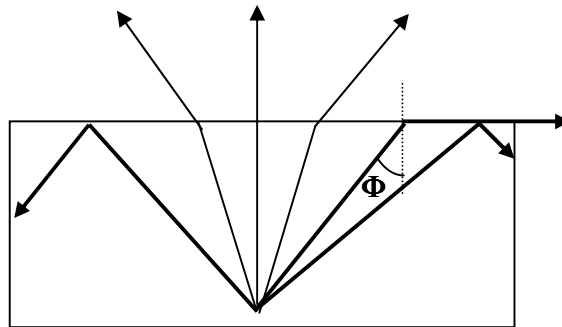
- C11** En el vacío todas las luces con independencia de su frecuencia van a la misma velocidad $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Como el índice de refracción vale lo mismo para todas $n = 1$, no hay dispersión alguna.
- C12** Las interferencias, la difracción y la polarización.
- C13** Una luz monocromática es la que tiene una sola frecuencia. La luz policromática está formada por un paquete de luces de frecuencias diferentes, sin embargo por el vacío todas se propagan a la misma velocidad pues el índice de refracción vale igual para todas las luces independientemente de su frecuencia, la unidad.
- C14** Los elementos son los siguientes: un tubo que contiene el gas a baja presión, una fuente de alta tensión que provoque la descarga a través del gas y un espectrómetro para observar el espectro luminoso.
- C15** Los espectros de emisión pueden ser de gases (atómicos o moleculares) que son de rayas o líneas y los emitidos por sólidos o líquidos incandescentes que son espectros de bandas o continuos.
- C16** Es un espectro de bandas cuyo desplazamiento hacia el rojo o el azul depende de la temperatura. A mayor temperatura está más desplazado hacia las longitudes de onda más cortas, es decir, hacia el azul.
- C17** Los espectros de absorción se producen cuando pasa la luz blanca a través de una sustancia transparente, sea sólida (filtro). Mientras que los sólidos y líquidos absorben bandas completas, los gases absorben solo líneas y precisamente las mismas que dieron en un espectro de emisión.
- C18** Para poder medir el intervalo de tiempo emitido entre destellos y controlar su duración.
- C19** Si, la reflexión especular se efectúa de forma ordenada en una determinada dirección. Cuando la reflexión tiene lugar en todas las direcciones se conoce como difusa.

- C20** Cuando sucede que en las capas superiores el aire está más frío, entonces tiene mayor densidad e índice de refracción, que en las capas próximas al suelo, donde está más caliente. Los rayos procedentes de las capas superiores, al penetrar en las capas inferiores con menor índice de refracción, pueden sufrir una reflexión total y los rayos reflejados llegan a nuestros ojos desde abajo, con lo que vemos las imágenes invertidas respecto de los objetos. También son espejismos, las aparentes manchas de agua que en días calurosos se observan sobre el asfalto, los rayos reflejados hacia arriba dan esa sensación.



- C21** Como el agua tiene un índice de refracción $n = 1,33$; mayor que el aire, que es la unidad, cuando los rayos pasan del agua al aire, sufren reflexión total aquellos que inciden formando con la normal, un ángulo superior al límite, que en el presente caso es:

$$\text{sen } \Phi = \frac{1}{1,33}; \quad \Phi \cong 49^\circ.$$



EJERCICIOS

- E1**
- $v = \frac{c}{\lambda} = \frac{300\,000\text{ km/s}}{1000\text{ m}} = 300\text{ kHz}$
 - 10^7 kHz
 - $4,6 \cdot 10^{11}\text{ kHz}$
 - $6,98 \cdot 10^{11}\text{ kHz}$
 - $3 \cdot 10^{12}\text{ kHz}$
 - $3 \cdot 10^{15}\text{ kHz}$

La frecuencia aumenta inversamente proporcional a la longitud de onda.

- E2** De acuerdo con la ecuación de Planck los fotones tienen una energía, proporcional a su frecuencia.
- $E = h \cdot \nu = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{ J} \cdot \text{s} \cdot 300\,000\text{ Hz} = 1,98 \cdot 10^{-28}\text{ J}$
 - $6,63 \cdot 10^{-24}\text{ J}$
 - $3,05 \cdot 10^{-19}\text{ J}$

d) $4,62 \cdot 10^{-19}$ J

e) $1,99 \cdot 10^{-18}$ J

f) $1,99 \cdot 10^{-15}$ J

E3 El ángulo entre huecos consecutivos, es el mismo que entre dos dientes contiguos,

$$\varphi = \frac{2\pi \text{ rad}}{720}$$

La rueda gira con velocidad angular constante $\varphi = \omega \cdot t$; y además $\omega = 2\pi \cdot v$. Sustituyendo:

$$\frac{2\pi \text{ rad}}{720} = 2\pi \cdot 25,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}} t; \text{ de donde } t = \frac{1\text{s}}{720 \cdot 25,2} = \frac{1\text{s}}{18144}$$

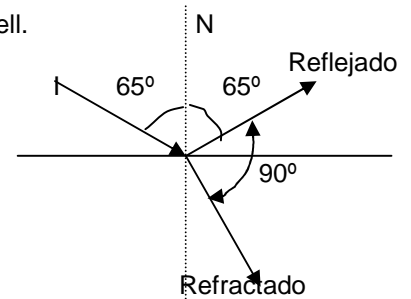
E4 La onda avanza a la velocidad de la luz c , de modo que el radio de la onda con centro en el foco de la perturbación es $R = c \cdot t$. La superficie de onda es esférica,

$$S = 4\pi R^2 = 4\pi c^2 t^2 = 4\pi 300\,000^2 \frac{\text{km}^2}{\text{s}^2} \cdot 10^2 \text{ s}^2 = 1,13 \cdot 10^{14} \text{ km}^2$$

E5 El rayo incidente forma con la normal 65° , aplicando la ley de Snell.

$$1 \cdot \sin 65^\circ = n_2 \cdot \sin[180 - (65 + 90)] = n_2 \cdot \sin 25^\circ$$

$$n_2 = \frac{\sin 65^\circ}{\sin 25^\circ} = 2,14$$



E6 Aplicando la ley de Snell:

$$1 \cdot \sin 30^\circ = n_2 \cdot \sin 22^\circ; \quad n_2 = 1,33; \quad \text{Se puede tratar de agua.}$$

E7 De la definición de ángulo límite:

$$n = \frac{1}{\sin \Phi} = \frac{1}{\sin 24,4^\circ} = 2,42; \text{ y la velocidad de la luz en esa sustancia:}$$

$$v = \frac{c}{n} = \frac{300\,000 \text{ km/s}}{2,42} = 123\,931 \text{ km/s}$$

E8 De la definición de índice de refracción $n = \frac{c}{v}$ resulta:

$$\text{Luz roja } v = \frac{300\,000 \text{ km/s}}{2,41} = 124\,481 \text{ km/s}; \quad \text{Luz naranja } v = 124\,224 \text{ km/s};$$

$$\text{Luz amarilla } v = 124\,111 \text{ km/s} \quad \text{Luz verde } v = 123\,660 \text{ km/s};$$

$$\text{Luz azul } v = 122\,755 \text{ km/s} \quad \text{Violeta } v = 122\,050 \text{ km/s}$$

E9 La velocidad es $v = \frac{c}{n}$

$$\text{En el aire } v = \frac{300\,000 \text{ km/s}}{1,000293} = 299\,912 \text{ km/s}; \quad \text{Benceno } v = 199\,867 \text{ km/s};$$

$$\text{Agua } v = 225\,056 \text{ km/s} \quad \text{Sal común } v = 194\,300 \text{ km/s};$$

$$\text{Diamante } v = 124\,121 \text{ km/s} \quad \text{Pyrex } v = 203\,528 \text{ km/s}$$

$$\text{Hielo } v = 229\,008 \text{ km/s}$$

E10 El ángulo límite tiene sentido para materiales distintos del aire o vacío.

$$\Phi = \text{arc sen } \frac{1}{n_1}; \text{ que aplicado a cada uno de los materiales da:}$$

Benceno	$\Phi = 41,8^\circ$
Agua	$\Phi = 48,6^\circ$
Sal común	$\Phi = 40,4^\circ$
Diamante	$\Phi = 24,4^\circ$
Vidrio pirex	$\Phi = 42,7^\circ$
Hielo	$\Phi = 49,8^\circ$

E11 Determinaremos el ángulo de refracción para las luces extremas del espectro visible al atravesar el diamante. Para el rojo $n_R=2,4100$ para el violeta 2,4580.

Para un ángulo de incidencia de 45°

$$\text{sen } \varepsilon_R = \frac{1 \cdot \text{sen } 45}{2,4100} = 0,293; \quad \varepsilon_R = 17,06^\circ$$

$$\text{sen } \varepsilon_V = \frac{1 \cdot \text{sen } 45}{2,4580} = 0,288; \quad \varepsilon_V = 16,72^\circ$$

Por lo tanto la dispersión del haz de luz blanca es: $\varphi = 17,06^\circ - 16,72^\circ = 0,34^\circ$

PROBLEMAS

P1 El poder reflector de la superficie del cristal.

$$\text{p.r.} = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} = \frac{(2,42-1)^2}{(2,42+1)^2} \cdot 100\% = 17,2\%$$

P2 Basta aplicar la ley de Snell, y sencillas relaciones trigonométricas:

$$1 \cdot \text{sen } 30^\circ = 1,54 \cdot \text{sen } \varepsilon'_1; \quad \varepsilon'_1 = 18,9^\circ$$

De la figura: $\varepsilon_2 = \varepsilon'_1 = 18,9^\circ$

Para calcular el ángulo ε'_2 que forma el rayo emergente con la normal, se aplica de nuevo la ley de Snell:

$$1,54 \cdot \text{sen } \varepsilon_2 = 1 \cdot \text{sen } \varepsilon'_2; \quad \varepsilon'_2 = 30^\circ$$

El rayo emergente sale paralelo al incidente y lo único que sufre es un desplazamiento lateral.

Para calcularlo, se observa en la figura que:

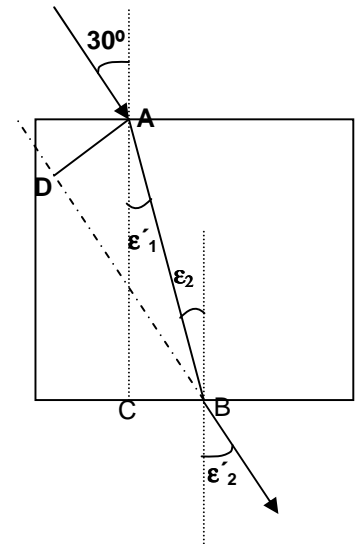
$$AB = \frac{AC}{\cos \varepsilon'_1} = \frac{5 \text{ cm}}{\cos 18,9} = 5,28 \text{ cm}$$

El desplazamiento lateral:

$$AD = AB \cdot \text{sen}(\varepsilon'_2 - \varepsilon_2) = 5,28 \text{ cm} \cdot \text{sen}(30 - 18,9) \approx 1 \text{ cm}$$

Al atravesar la superficie de caras planas y paralelas el rayo emergente sale desplazado lateralmente, aunque paralelo a la dirección de incidencia.

Al atravesar un rayo de luz, el espesor del cristal de una ventana, experimenta un desplazamiento similar, aunque de una magnitud muy inferior por tener mucho menos espesor.



P3 Aplicando la ley de Snell a los rayos de cada color, tendremos:

$$1 \cdot \text{sen } 15^\circ = 2,4100 \cdot \text{sen } \varepsilon'_{1R}; \quad \varepsilon'_{1R} = \text{arc sen } \frac{1}{2,4100} = 6,16510^\circ$$

$$1 \cdot \text{sen } 15^\circ = 2,4580 \cdot \text{sen } \varepsilon'_{1V};$$

$$\varepsilon'_{1V} = \text{arc sen } \frac{1}{2,4580} = 6,04426^\circ$$

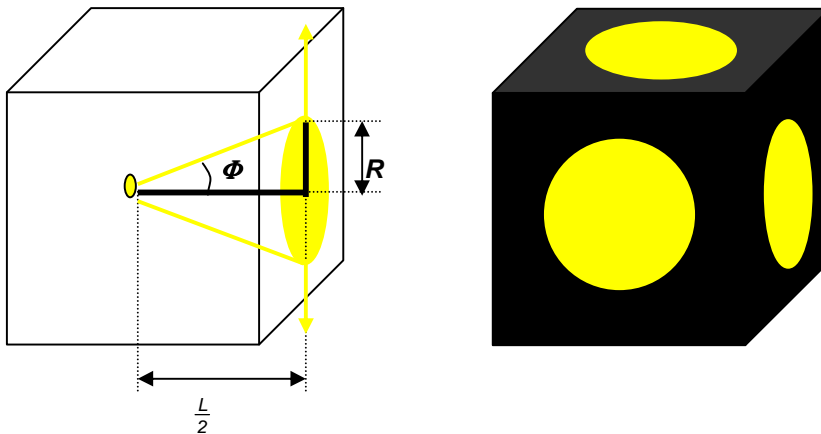
La desviación se obtiene restando los dos ángulos:

$$\delta = \varepsilon'_{1R} - \varepsilon'_{1V} = 6,16510^\circ - 6,04426^\circ = 0,12084^\circ$$

P4 Como los rayos tienen que pasar de un medio de mayor índice de refracción a otro de menor, algunos rayos sufren la reflexión total y no pueden salir del cubo, ¿cuáles?. Aquellos que incidan formando con la normal con un ángulo superior al límite Φ . Determinaremos primero el ángulo límite.

$$\text{sen } \Phi = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1,52} = 0,6579; \quad \Phi = \text{arc sen } 0,6579 \approx 41,13^\circ$$

Para mayor claridad del dibujo representamos la luz amarilla que sale por una cara y el radio de la zona iluminada, sin embargo por cada una de las seis caras sucede lo mismo.



En la figura se observa que $R = \frac{L}{2} \text{tg } \Phi = \frac{20\text{cm}}{2} \cdot \text{tg } 41,13^\circ = 8,7\text{cm}$

El disco de radio $8,7\text{ cm}$ está completamente iluminado, el resto de la cara del cubo está totalmente a oscuras debido a la reflexión total.

P5 Los rayos que inciden sobre la superficie con un ángulo superior al límite no salen al aire porque son reflejados al interior del agua.

Se determina el valor del ángulo límite,

$$\Phi = \text{arc sen } \frac{1}{n} = \text{arc sen } \frac{1}{1,33} = 48,8^\circ$$

El radio del disco luminoso es:

$$R = 0,40\text{ m} \cdot \text{tg } \Phi = 0,40 \cdot \text{tg } 48,8^\circ = 0,456\text{ m}$$

$$\text{El área del disco: } S = \pi R^2 = \pi \cdot (0,456\text{ m})^2 = 0,65\text{ m}^2$$

