UNIVERSIDADES PÚBLICAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID
EVALUACIÓN PARA EL ACCESO A LAS ENSEÑANZAS UNIVERSITARIAS OFICIALES DE GRADO

Curso **2020-21**

MATERIA: FÍSICA

INSTRUCCIONES GENERALES Y CALIFICACIÓN

Después de leer atentamente el examen, responda a cinco preguntas cualesquiera a elegir entre las diez que se proponen.

CALIFICACIÓN: Cada pregunta se valorará sobre 2 puntos (1 punto cada apartado).

TIEMPO: 90 minutos.

Pregunta A.1.- Una masa puntual de 50 g se encuentra situada en la posición (8, 0) m del plano *xy*. Calcule:

a) El potencial gravitatorio y el campo gravitatorio en el punto (0, 6) m del plano debido a dicha masa.

b) El trabajo realizado por el campo al trasladar un objeto puntual de 20 g desde el punto (0, 6) m hasta el origen de coordenadas.

Dato: Constante de Gravitación Universal, $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}.

Pregunta A.2.- Al explotar, un cohete de fuegos artificiales genera una onda sonora esférica con una potencia sonora de 20 mW. Un espectador oye la explosión 1,5 s después de verlo explotar. Calcule:

a) La distancia a la que está situado el espectador respecto al cohete en el momento de la explosión, así como la intensidad del sonido en la posición del espectador.

b) El nivel de intensidad sonora percibida si explotan 10 cohetes simultáneamente, y el espectador los oye todos al unísono 1,5 s después de explotar.

Datos: Velocidad del sonido en el aire, $v_s = 340$ m s^{-1}; *Valor umbral de la intensidad acústica,* $I_0 = 10^{-12}$ W m^{-2}.

Pregunta A.3.- Una carga puntual de 2 μC se encuentra situada en el origen de coordenadas.

a) Aplicando el teorema de Gauss, obtenga el flujo del campo eléctrico a través de una superficie esférica de 10 mm de diámetro centrada en el origen.

b) Utilizando el valor del flujo obtenido en el apartado anterior, calcule el módulo del campo eléctrico en puntos situados a 5 mm de la carga.

Dato: Permitividad eléctrica del vacío, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ C^2 N^{-1} m^{-2}.

Pregunta A.4.- Un objeto vertical de 2 mm de altura se encuentra situado 15 cm a la izquierda de una lente convergente de 40 dioptrías. Calcule:

a) La posición y tamaño de la imagen que forma la lente.

b) La posición de una segunda lente convergente de 6 cm de distancia focal, situada a la derecha de la primera lente, para que el sistema óptico genere una imagen en el infinito.

Pregunta A.5.- Un material posee un sistema de tres niveles energéticos electrónicos (nivel fundamental, primer nivel, y segundo nivel). Para que un electrón pase desde el nivel fundamental al segundo nivel, el material absorbe radiación de 450 nm; tras lo cual el material emite radiación de 600 nm debido al decaimiento del primer nivel hasta el fundamental.

a) Determine las diferencias de energía entre el primer nivel y el nivel fundamental, y entre el segundo nivel y el nivel fundamental, expresadas en electrón-voltios.

b) Calcule la energía por unidad de tiempo que produce la emisión si el material emite $4 \cdot 10^{15}$ fotones s^{-1}.

Datos: Valor absoluto de la carga del electrón, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C; *Constante de Planck,* $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s; *Velocidad de la luz en el vacío,* $c = 3 \cdot 10^8$ m s^{-1}.

Pregunta B.1.- Una sonda espacial de 3500 kg se encuentra en órbita circular alrededor de Saturno, realizando una revolución cada 36 horas. Calcule:

a) La velocidad orbital y la energía mecánica que posee la sonda espacial.
b) La energía mínima necesaria que habría que suministrarle para que abandone el campo gravitatorio del planeta.

Datos: Constante de Gravitación Universal, $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}; *Masa de Saturno,* $M_s = 5{,}68 \cdot 10^{26}$ kg.

Pregunta B.2.- El valor del campo eléctrico asociado a una onda electromagnética que se propaga en un medio material en la dirección del eje *x* viene expresado por:

$$E(x,t) = 4\cos(3{,}43 \cdot 10^{15} t - 1{,}52 \cdot 10^{7} x) \text{ N C}^{-1},$$

donde todas las magnitudes están expresadas en unidades del SI. Calcule:

a) La frecuencia y la longitud de onda asociadas a la onda electromagnética.
b) La velocidad de propagación de la onda y el índice de refracción del medio por el cual se propaga.

Dato: Velocidad de la luz en el vacío, $c = 3 \cdot 10^{8}$ m s^{-1}.

Pregunta B.3.- Un hilo conductor rectilíneo indefinido situado a lo largo del eje *x* transporta una corriente de 25 A en sentido positivo del eje. Obtenga:

a) El campo magnético creado por el hilo en el punto (0, 5, 0) cm.
b) La fuerza magnética que experimenta un electrón cuando está en la posición (0, 5, 0) cm y tiene una velocidad de 1000 m s^{-1} en sentido positivo del eje *y*.

Datos: Valor absoluto de la carga del electrón, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C; *Permeabilidad magnética del vacío,* $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T m A^{-1}.

Pregunta B.4.- Un rayo láser, que emite luz de longitud de onda de 488 nm en el vacío, incide desde el aire sobre la superficie plana de un material con un índice de refracción de 1,55. El rayo incidente y el reflejado forman entre sí un ángulo de 60º.

a) Determine la frecuencia y la longitud de onda del rayo luminoso en el aire y dentro del medio material.
b) Calcule el ángulo que formará el rayo refractado en el material con el rayo reflejado en el aire. ¿Existirá algún ángulo de incidencia para el cual el rayo láser sufra reflexión total? Justifique la respuesta.

Datos: Índice de refracción del aire, $n_{aire} = 1$; *Velocidad de la luz en el vacío,* $c = 3 \cdot 10^{8}$ m s^{-1}.

Pregunta B.5.- Un isótopo de una muestra radiactiva posee un periodo de semidesintegración de 5730 años.

a) Obtenga la vida media y la constante radiactiva del isótopo.
b) Si una muestra tiene $5 \cdot 10^{20}$ átomos radiactivos en el momento inicial, calcule la actividad inicial y el tiempo que debe trascurrir para que dicha actividad se reduzca a la décima parte.

CRITERIOS ESPECÍFICOS DE CORRECCIÓN

FÍSICA

* Las preguntas deben contestarse razonadamente, valorando en su resolución una adecuada estructuración y el rigor en su desarrollo.

* Se valorará positivamente la inclusión de pasos detallados, así como la realización de diagramas, dibujos y esquemas.

* En la corrección de las preguntas se tendrá en cuenta el proceso seguido en la resolución de las mismas, valorándose positivamente la identificación de los principios y leyes físicas involucradas.

* Se valorará la destreza en la obtención de resultados numéricos y el uso correcto de las unidades en el Sistema Internacional.

* Cada pregunta, debidamente justificada y razonada con la solución correcta, se calificará con un máximo de 2 puntos.

* En las preguntas que consten de varios apartados, la calificación máxima será la misma para cada uno de ellos (desglosada en múltiplos de 0,25 puntos).

FÍSICA
SOLUCIONES
(**Documento de trabajo Orientativo**)

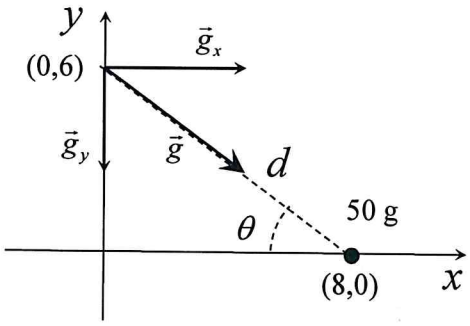
Pregunta A.1.- Una masa puntual de 50 g se encuentra situada en la posición (8, 0) m del plano *xy*. Calcule:

a) El potencial gravitatorio y el campo gravitatorio en el punto (0, 6) m del plano debido a dicha masa.
b) El trabajo realizado por el campo al trasladar un objeto puntual de 20 g desde el punto (0, 6) m hasta el origen de coordenadas.

Dato: Constante de Gravitación Universal, $G = 6{,}67\cdot10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}.

Solución:

a) En primer lugar calculamos la distancia *d* y el ángulo θ según la figura adjunta.



La distancia *d* es:

$$d = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ m}$$

En la figura, el ángulo θ se puede calcular como:

$$\tan\theta = \frac{6}{8}, \text{ de donde } \theta = 36{,}87^\circ$$

El potencial gravitatorio en el punto (0, 6) m es:

$$V_{grav} = -G\frac{M}{d} = -3{,}33\cdot10^{-13} \text{ J kg}^{-1}$$

Por otro lado, el módulo del campo gravitatorio será:

$$|\vec{g}| = G\frac{M}{d^2} = 3{,}33\cdot10^{-14} \text{ N kg}^{-1}$$

En función de sus componentes cartesianas el campo queda expresado como:

$$\vec{g} = g\cos\theta\vec{i} - g\sin\theta\vec{j} = (2{,}67\cdot10^{-14}\ \vec{i} - 2{,}00\cdot10^{-14}\ \vec{j}) \text{ N kg}^{-1}$$

b) Para calcular el trabajo realizado por el campo falta calcular el potencial gravitatorio en el origen:

$$V_{grav}(0,0) = -G\frac{M}{d'} = -4{,}17\cdot10^{-13} \text{ J kg}^{-1}$$

De donde el trabajo será:

$$W_{(0,6)\to(0,0)} = -m\left(V_{grav}(0,0) - V_{grav}(0,6)\right) = 1{,}67\cdot10^{-15} \text{ J}$$

Pregunta A.2.- Al explotar, un cohete de fuegos artificiales genera una onda sonora esférica con una potencia sonora de 20 mW. Un espectador oye la explosión 1,5 s después de verlo explotar. Calcule:

a) La distancia a la que está situado el espectador respecto al cohete en el momento de la explosión, así como la intensidad del sonido en la posición del espectador.

b) El nivel de intensidad sonora percibida si explotan 10 cohetes simultáneamente, y el espectador los oye todos al unísono 1,5 s después de explotar.

Datos: Velocidad del sonido en el aire, $v_s = 340$ m s^{-1}; *Valor umbral de la intensidad acústica,* $I_0 = 10^{-12}$ W m^{-2}.

Solución:

a) Sabiendo la velocidad del propagación del sonido en el aire, la distancia a la que explota el cohete es:

$$d = v_s t = 510 \text{ m}$$

Una vez conocida la distancia, la intensidad sonora en la posición del espectador será:

$$I = \frac{P}{4\pi d^2} = 6{,}12 \cdot 10^{-9} \text{ W m}^{-2}$$

b) La potencia de 10 explosiones es: $P_{total} = 10P = 200 \text{ mW}$

La intensidad sonora será por tanto:

$$I_{total} = \frac{P_{total}}{4\pi d^2} = 6{,}12 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$$

Por lo que el nivel de intensidad sonora será:

$$\beta(\text{dB}) = 10 \log_{10}\left(\frac{I_{total}}{I_0}\right) = 47{,}87 \text{ dB}$$

Pregunta A.3.- Una carga puntual de 2 μC se encuentra situada en el origen de coordenadas.

a) Aplicando el teorema de Gauss, obtenga el flujo del campo eléctrico a través de una superficie esférica de 10 mm de diámetro centrada en el origen.

b) Utilizando el valor del flujo obtenido en el apartado anterior, calcule el módulo del campo eléctrico en puntos situados a 5 mm de la carga.

Dato: Permitividad eléctrica del vacío, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ C^2 N^{-1} m^{-2}.

Solución:

a) Aplicando el teorema de Gauss, el flujo del campo eléctrico es:

$$\Phi = \oiint_{Sup} \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q_{encerrada}}{\varepsilon_0} = 2{,}26 \cdot 10^5 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-1}$$

Este resultado no depende de la superficie, siempre que sea una superficie cerrada que incluya a la carga en su interior.

b) El flujo para una superficie esférica centrada en la carga es:

$$\Phi = \oiint_{Sup} \vec{E} \cdot d\vec{S} = E\, 4\pi r^2$$

donde se ha utilizado el hecho de que $\vec{E}$ y $d\vec{S}$ son paralelos, y el módulo del campo es igual en todos los puntos de la superficie. De ahí:

$$E = \frac{\Phi}{4\pi r^2} = 7{,}20 \cdot 10^8 \text{ N C}^{-1}$$

Pregunta A.4.- Un objeto vertical de 2 mm de altura se encuentra situado 15 cm a la izquierda de una lente convergente de 40 dioptrías. Calcule:

a) La posición y tamaño de la imagen que forma la lente.

b) La posición de una segunda lente convergente de 6 cm de distancia focal, situada a la derecha de la primera lente, para que el sistema óptico genere una imagen en el infinito.

Solución:

a) Aplicando la ley para lentes delgadas:

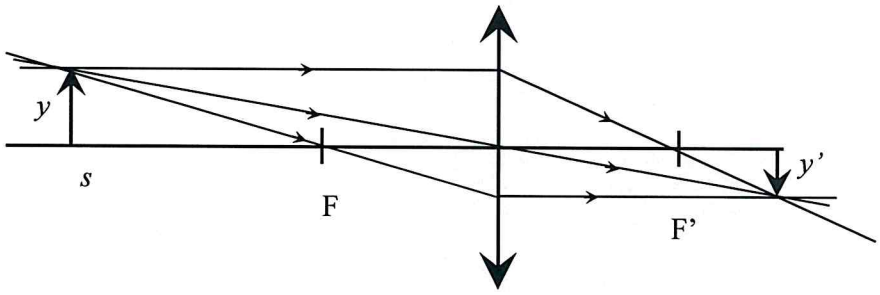
$$\frac{1}{f'}=\frac{1}{s'}-\frac{1}{s}$$

donde, para $f' = 1/P = 0{,}025$ m = 2,5 cm, y $s = -0{,}15$ m = -15 cm, se obtiene:

$$s'=\frac{1}{\frac{1}{f'}+\frac{1}{s}}=3\text{ cm}$$

El tamaño de la imagen se puede obtener mediante:

$$M=\frac{y'}{y}=\frac{s'}{s} \qquad y'=\frac{s'}{s}y=-0{,}4\text{ mm}$$



b) Para que la imagen final se forme en el infinito, la imagen proporcionada por la primera lente debe situarse en el foco de la segunda lente, por lo cual

$$d_{lentes}=s'+f_2'=9\text{ cm}$$

Pregunta A.5.- Un material posee un sistema de tres niveles energéticos electrónicos (nivel fundamental, primer nivel, y segundo nivel). Para que un electrón pase desde el nivel fundamental al segundo nivel, el material absorbe radiación de 450 nm; tras lo cual el material emite radiación de 600 nm debido al decaimiento del primer nivel hasta el fundamental.

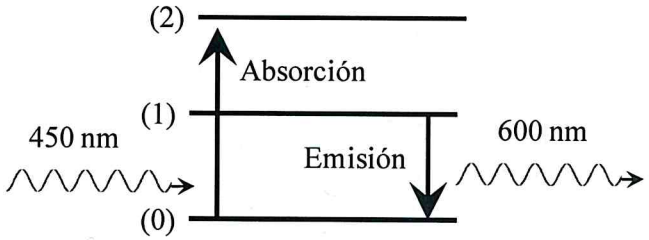
a) Determine las diferencias de energía entre el primer nivel y el nivel fundamental, y entre el segundo nivel y el nivel fundamental, expresadas en electrón-voltios.

b) Calcule la energía por unidad de tiempo que produce la emisión si el material emite $4 \cdot 10^{15}$ fotones s^{-1}.

Datos: Valor absoluto de la carga del electrón, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C; Constante de Planck, $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ J s; Velocidad de la luz en el vacío, $c = 3 \cdot 10^{8}$ m s^{-1}.

Solución:

a) La secuencia de transiciones propuesta entre esos tres niveles se esquematiza según:



La frecuencia de la radiación absorbida o emitida entre dos niveles energéticos viene dada por:

$$\Delta E = h\nu_{fotón} = h\frac{c}{\lambda_{fotón}}$$

Para el caso de la absorción, transición (0)→(2):

$$\Delta E = E_2 - E_0 = h\nu_{fotón} = h\frac{c}{\lambda_{fotón}} = 4{,}42 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = 2{,}76\ \text{eV}$$

Para el caso de la emisión, transición (1)→(0):

$$\Delta E = E_1 - E_0 = h\nu_{fotón} = h\frac{c}{\lambda_{fotón}} = 3{,}31 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = 2{,}07\ \text{eV}$$

b) La energía emitida por unidad de tiempo (potencia emitida) se calcula como el flujo de fotones por la energía de cada fotón emitido:

$$P = N_{fotones/s} E_{fotón\ emitido} = 1{,}33 \cdot 10^{-3}\ \text{W}$$

Pregunta B.1.- Una sonda espacial de 3500 kg se encuentra en órbita circular alrededor de Saturno, realizando una revolución cada 36 horas. Calcule:

a) La velocidad orbital y la energía mecánica que posee la sonda espacial.
b) La energía mínima necesaria que habría que suministrarle para que abandone el campo gravitatorio del planeta.

Datos: Constante de Gravitación Universal, $G = 6{,}67\cdot10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}; *Masa de Saturno*, $M_s = 5{,}68\cdot10^{26}$ kg.

Solución:

a) Al ser una órbita circular, se cumple:

$$F_{grav} = F_{centrípeta} \qquad \Rightarrow \qquad G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r} \qquad \Rightarrow \qquad v^2 = G\frac{M}{r}$$

Por otro lado, la velocidad orbital se relaciona con el radio de la órbita y su periodo mediante:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

Combinando ambas expresiones, se obtiene:

$$v^2 = \left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2 = G\frac{M}{r} \qquad \Rightarrow \qquad r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2}$$

de donde se calcula el radio de la órbita:

$$r = \left(\frac{GMT^2}{4\pi^2}\right)^{1/3} = 2{,}53\cdot10^8 \text{ m} = 253.000 \text{ km}$$

La velocidad orbital es ahora: $v = \dfrac{2\pi r}{T} = 12246{,}62 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 1{,}22\cdot10^4 \text{ m s}^{-1}$

Para una órbita circular, la energía mecánica es:

$$E_{mec} = E_{cin} + E_{pot} = \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{r} = -\frac{1}{2}G\frac{Mm}{r} = -2{,}62\cdot10^{11} \text{ J}$$

b) Para que la sonda abandone el campo gravitatorio del planeta, la velocidad que debe poseer en el infinito debe ser nula, y así lo será su energía potencial también, por lo que la energía mecánica debe ser cero:

$$E_{mec} = 0 = E_{\text{mecánica en órbita}} + E_{\text{suministrada}} \qquad \Rightarrow \qquad E_{\text{suministrada}} = -E_{\text{mecánica en órbita}} = 2{,}62\cdot10^{11} \text{ J}$$

Pregunta B.2.- El valor del campo eléctrico asociado a una onda electromagnética que se propaga en un medio material en la dirección del eje *x* viene expresado por:

$$E(x,t) = 4\cos(3,43\cdot 10^{15} t - 1,52\cdot 10^{7} x) \text{ N C}^{-1},$$

donde todas las magnitudes están expresadas en unidades del SI. Calcule:

a) La frecuencia y la longitud de onda asociadas a la onda electromagnética.

b) La velocidad de propagación de la onda y el índice de refracción del medio por el cual se propaga.

Dato: Velocidad de la luz en el vacío, $c = 3\cdot 10^{8}$ m s^{-1}.

Solución:

a) De la expresión del campo eléctrico, se deduce inmediatamente su frecuencia angular y su número de onda:

$$\omega = 3,43\cdot 10^{15} \text{ rad s}^{-1}$$
$$k = 1,52\cdot 10^{7} \text{ rad m}^{-1}$$

De donde la frecuencia y su longitud de onda se obtienen mediante las relaciones:

$$\omega = 2\pi f \quad \Rightarrow \quad f = \frac{\omega}{2\pi} = 5,46\cdot 10^{14} \text{ Hz}$$
$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{2\pi}{k} = 4,13\cdot 10^{-7} \text{ m}$$

b) La velocidad de propagación se obtiene mediante:

$$v = \frac{\omega}{k} = \lambda f = 2,26\cdot 10^{8} \text{ m s}^{-1}$$

El índice de refracción se define como la relación entre las velocidades de propagación en el vacío y en un medio material:

$$n = \frac{c}{v} = 1,33$$

Pregunta B.3.- Un hilo conductor rectilíneo indefinido situado a lo largo del eje *x* transporta una corriente de 25 A en sentido positivo del eje. Obtenga:

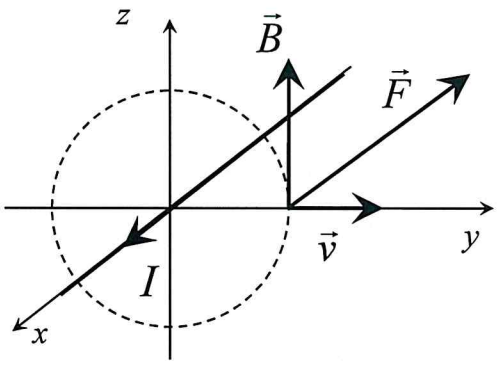
a) El campo magnético creado por el hilo en el punto (0, 5, 0) cm.

b) La fuerza magnética que experimenta un electrón cuando está en la posición (0, 5, 0) cm y tiene una velocidad de 1000 m s^{-1} en sentido positivo del eje *y*.

Datos: Valor absoluto de la carga del electrón, $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ C; *Permeabilidad magnética del vacío,* $\mu_0 = 4\pi\cdot10^{-7}$ T m A^{-1}.

Solución:

a) Los vectores involucrados se muestran en la figura adjunta:



El módulo del campo magnético en el punto (0, 5, 0) cm se calcula mediante la expresión (derivada de la aplicación de la Ley de Ampère):

$B = \dfrac{\mu_0 I}{2\pi r} = 10^{-4}$ T, cuya dirección y sentido se muestra en la figura. Por tanto:

$$\vec{B} = 10^{-4}\ \vec{k}\ \text{T}$$

b) Para calcular la fuerza magnética utilizamos la expresión:

$$\vec{F} = q\vec{v}\times\vec{B} = q\begin{vmatrix}\vec{i} & \vec{j} & \vec{k}\\ 0 & v & 0\\ 0 & 0 & B\end{vmatrix} = -1{,}6\cdot10^{-20}\ \vec{i}\ \text{N}$$

Pregunta B.4.- Un rayo láser, que emite luz de longitud de onda de 488 nm en el vacío, incide desde el aire sobre la superficie plana de un material con un índice de refracción de 1,55. El rayo incidente y el reflejado forman entre sí un ángulo de 60º.

a) Determine la frecuencia y la longitud de onda del rayo luminoso en el aire y dentro del medio material.

b) Calcule el ángulo que formará el rayo refractado en el material con el rayo reflejado en el aire. ¿Existirá algún ángulo de incidencia para el cual el rayo láser sufra reflexión total? Justifique la respuesta.

Datos: Índice de refracción del aire, $n_{aire} = 1$; *Velocidad de la luz en el vacío,* $c = 3\cdot10^{8}$ m s^{-1}.

Solución:

a) La frecuencia de la luz no cambia con el medio de propagación, y su relación con la longitud de onda y la velocidad de propagación viene dada por:

$$v = \lambda f$$

Para el vacío (o el aire), la velocidad de propagación es *c*:

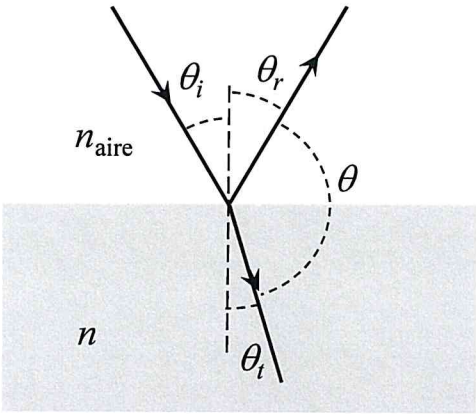
$$f = \frac{c}{\lambda_0} = 6{,}15\cdot10^{14}\ \text{Hz}$$

La longitud de onda en el medio material será:

$$v = \frac{c}{n} = \lambda f \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{nf} = \frac{\lambda_0}{n} = 3{,}15 \cdot 10^{-7}\ \text{m} = 315\ \text{nm}$$

b) Teniendo en cuenta que el ángulo reflejado y el incidente son iguales:

$$\theta_{inc} = \theta_{ref} \quad \Rightarrow \quad \theta_{inc} + \theta_{ref} = 2\theta_{inc} = 60^\circ \quad \Rightarrow \quad \theta_{inc} = 30^\circ$$



Aplicando la ley de Snell:

$$n_{aire}\,\text{sen}\,\theta_{inc} = n\,\text{sen}\,\theta_{trans} \quad \Rightarrow \quad \theta_{trans} = \text{asen}\left[\frac{n_{aire}\,\text{sen}\,\theta_{inc}}{n}\right] = 18{,}82^\circ$$

El ángulo formado por el rayo reflejado y el transmitido será:

$$\theta = 180^\circ - (\theta_{ref} + \theta_{trans}) = 131{,}18^\circ$$

Desde el aire hacia el material no existe ángulo crítico (no puede dar lugar a reflexión total), pues:

$$n_{aire}\,\text{sen}\,\theta_c = n\,\text{sen}\,90 \quad \Rightarrow \quad \theta_c = \text{asen}\left[\frac{n\,\text{sen}90}{n_{aire}}\right] = \text{asen}\left[1{,}55\right], \text{ que no existe.}$$

Pregunta B.5.- .- Un isótopo de una muestra radiactiva posee un periodo de semidesintegración de 5730 años.

a) Obtenga la vida media y la constante radiactiva del isótopo.

b) Si una muestra tiene $5 \cdot 10^{20}$ átomos radiactivos en el momento inicial, calcule la actividad inicial y el tiempo que debe trascurrir para que dicha actividad se reduzca a la décima parte.

Solución:

a) La vida media se calcula mediante:

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln 2} = 8266{,}64 \text{ años} \approx 2{,}61 \cdot 10^{11} \text{ s}$$

Por otra parte, la constante de desintegración radiactiva es la inversa de la vida media:

$$\lambda = \frac{1}{\tau} = 3{,}84 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1} = 1{,}21 \cdot 10^{-4} \text{ años}^{-1}$$

b) La actividad es: $A = \lambda N$, por lo que la actividad inicial será:

$$A_0 = \lambda N_0 = 1{,}92 \cdot 10^{9} \text{ Bq}$$

La actividad se reduce con el tiempo según la ley de decaimiento radiactivo:

$$A = A_0 \exp(-t / \tau)$$

de donde:

$$t = \tau \ln\left[\frac{A_0}{A}\right] = \tau \ln[10] = 6{,}00 \cdot 10^{11} \text{ s} \approx 19.000 \text{ años}$$