Universidad de Castilla la Mancha - Junio 2.017

Opción A

Problemas:

1.- Una onda transversal de 16 Hz se propaga en el sentido positivo del eje X a lo largo de una cuerda tensa con una velocidad de 64 m/s. Si su amplitud es de 5 cm, se pide:

a) Escribir una ecuación para la onda sabiendo que en t = 0 la elongación del punto x = 0 es igual a +2.5 cm.
b) Calcular la diferencia de fase entre dos puntos de la cuerda separados una distancia de 0.5 m.
c) Determinar la velocidad de vibración transversal y la aceleración del punto x = 0 en el instante t = 0.

La ecuación para una onda transversal que se propaga a lo larga de una cuerda es:

$$y(x,t) = A\ sen\,(\omega t \pm kx + \delta_0) \rightarrow \left| \begin{array}{l} f = 16Hz = \dfrac{\omega}{2\pi} \rightarrow \boldsymbol{\omega = 32\pi\ {}^{rad}/_{s}} \\ Sentido\ (+)\ del\ eje\ x \rightarrow (\omega t - kx + \delta_0) \\ v = 64\ {}^{m}/_{s} = \dfrac{\omega}{k} \rightarrow \boldsymbol{k = \dfrac{\pi}{2}\ m^{-1}} \\ \boldsymbol{A = 0.05m} \end{array} \right. \rightarrow y(x,t)$$

$$= 0.05\ sen\left(32\pi t - \frac{\pi}{2}x + \delta_0\right)$$

Para calcular la fase inicial, sustituimos los datos que nos dan: t = 0 -> x = 0 -> y = 0.025:

$$2.5 = 0.05\ sen\,(\delta_0) \rightarrow \delta_0 = arc\ sen\left(\frac{2.5}{0.05}\right) \rightarrow \boldsymbol{\delta_0 = \frac{\pi}{6} rad}$$

Por lo que la ecuación para la onda queda finalmente:

$$\boldsymbol{y(x,t) = 0.05\ sen\left(32\pi t - \frac{\pi}{2}x + \frac{\pi}{6}\right)}$$

Ahora calculamos la diferencia de fase entre dos puntos separados por una distancia de 0.5m:

$$\Delta\delta = \delta_1 - \delta_2 = \left|\left(32\pi t_1 - \frac{\pi}{2}x_1 + \frac{\pi}{6}\right) - \left(32\pi t_2 - \frac{\pi}{2}x_2 + \frac{\pi}{6}\right)\right| \rightarrow \boldsymbol{t_1 = t_2} \rightarrow \Delta\delta = \frac{\pi}{2}|-x_1 + x_2| = \frac{\pi}{2}\cdot 0.5 \rightarrow \boldsymbol{\Delta\delta = \frac{\pi}{4} rad}$$

La velocidad de vibración de una partícula, viene dada por la derivada de la posición con respecto al tiempo. En x = 0 y t = 0:

$$v(x,t) = \frac{dy}{dt} = A\omega\ cos\,(\omega t \pm kx + \delta_0) = \frac{8\pi}{5} cos\left(32\pi t - \frac{\pi}{2}x + \frac{\pi}{6}\right) \rightarrow v(0,0) = \frac{8\pi}{5} cos\left(\frac{\pi}{6}\right) \rightarrow \boldsymbol{v = 4.35\ {}^{m}/_{s}}$$

La aceleración, viene dada por la derivada de la velocidad con respecto al tiempo. En x = 0 y t = 0:

$$a(x,t) = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2\ sen\,(\omega t \pm kx + \delta_0) = -\frac{256\pi^2}{5} sen\left(32\pi t - \frac{\pi}{2}x + \frac{\pi}{6}\right) \rightarrow a(0,0) = -\frac{256\pi^2}{5} sen\left(\frac{\pi}{6}\right) \rightarrow \boldsymbol{a = -252.66\ {}^{m}/_{s^2}}$$

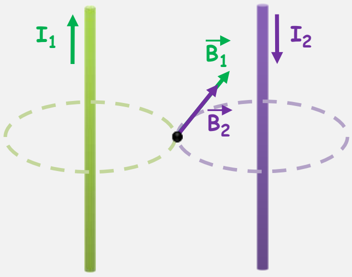
2.- Dos conductores rectilíneos paralelos muy largos transportan corrientes iguales en sentidos contrarios. La distancia entre ellos es d = 1 m, y el campo magnético en el punto medio de la distancia que los separa es igual a $8\cdot10^{-7}$ T. Se pide:

a) Explicar razonadamente, ilustrando gráficamente la situación mediante un esquema adecuado, cuál es el sentido del campo magnético en el punto medio entre los dos conductores.
b) Calcular el valor de la corriente que circula por cada conductor.
c) Calcular la fuerza ejercida entre los dos conductores por unidad de longitud y explicar razonadamente si dicha fuerza es atractiva o repulsiva.

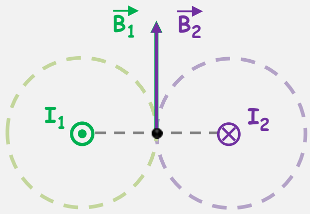
Dato: Permeabilidad del vacío $\mu_0 = 4\pi\cdot10^{-7}\ N\cdot A^{-2}$

Las líneas del campo magnético que son creadas por una corriente rectilínea forman circunferencias concéntricas en el plano perpendicular al conductor. Además, la dirección del campo magnético es tangente en cada punto a dichas líneas y su sentido es el que determina la regla de la mano derecha. Por tanto, en el punto medio, los campos magnéticos creados por las dos corrientes tienen la misma dirección, perpendicular al plano que contiene los dos hilos, y el mismo sentido, ya que las corrientes tienen sentidos opuestos.

Vista Lateral



Vista Superior



Calculamos la inducción magnética creada en el punto medio por cada uno de los conductores:

$$\vec{B_1} = \frac{\mu_0 \, I}{2\,\pi \, \frac{d}{2}} = \frac{\mu_0 \, I}{\pi \, d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot I}{\pi \cdot 1} \rightarrow \vec{B_1} = 4 \cdot 10^{-7} \cdot I \, T$$

$$\vec{B_2} = \frac{\mu_0 \, I}{\pi \, d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot I}{\pi \cdot 1} \rightarrow \vec{B_2} = 4 \cdot 10^{-7} \cdot I \, T$$

La inducción magnética resultante es la suma vectorial de $\vec{B_1}$ y $\vec{B_2}$. Como estos vectores tienen la misma dirección y sentido, el módulo del campo magnético resultante será la suma de los módulos de $\vec{B_1}$ y $\vec{B_2}$:

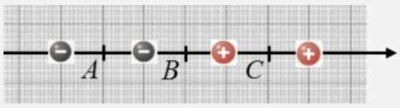
$$\vec{B} = \vec{B_1} + \vec{B_2} \rightarrow 8 \cdot 10^{-7} = 2(4 \cdot 10^{-7} \cdot I) \rightarrow I = 1 \, A$$

La fuerza ejercida entre los dos conductores es perpendicular al campo y a los conductores. Como las dos corrientes tienen sentido opuesto, la fuerza es **repulsiva**:

$$|\vec{F}| = I \; |\vec{L}| \; |\vec{B}| \; sen\,\alpha \rightarrow \frac{|\vec{F}|}{|\vec{L}|} = I \; |\vec{B}| \; sen\,\alpha \rightarrow \frac{F}{L} = 0.31 \cdot 8 \cdot 10^{-7} \cdot sen\,90° \rightarrow \frac{F}{L} = 2.48 \cdot 10^{-7} \; {}^{N}/_{m}$$

Cuestiones:

3.- Dos cargas negativas −q y dos cargas positivas +q están alineadas manteniendo posiciones fijas (véase esquema adjunto). Las distancias entre cargas adyacentes son iguales. Explicar razonadamente en cuál de los tres puntos señalados A, B o C será mayor el potencial eléctrico.

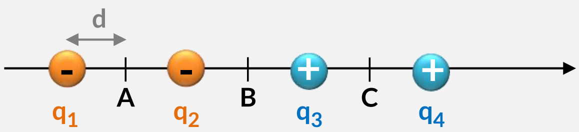


Cada uno de los puntos A, B, C está situado a igual distancia de sus dos cargas vecinas.

El potencial en un punto es la energía potencial que posee la unidad de carga positiva colocada en ese punto. Al ser una magnitud escalar, el potencial total en un punto debido a un conjunto de cargas será la suma algebraica de los potenciales creados por cada carga en ese punto

$$V = K \sum \frac{Q}{d}$$

Como vemos, sólo depende de la carga que crea el campo y de la distancia del punto a la carga.



Punto A

$$V_A = k\left(-\frac{q_1}{d} - \frac{q_2}{d} + \frac{q_3}{3d} + \frac{q_4}{5d}\right)$$

$$V_A = -\frac{7}{15} k \frac{q}{d} V$$

Punto B

Por simetría, se anulan tanto el efecto de las cargas positivas como negativas, por lo que el potencial eléctrico será **nulo** en este punto.

$$V_B = 0V$$

Punto C

$$V_C = k\left(-\frac{q_1}{5d} - \frac{q_2}{3d} + \frac{q_3}{d} + \frac{q_4}{d}\right)$$

$$V_C = +\frac{7}{15} k \frac{q}{d} V$$

Por tanto, en el **punto C** es donde el **potencial eléctrico es mayor**.

4.- La frecuencia de un rayo gamma de alta energía es 10^{21} Hz. ¿Cuál es su longitud de onda en el vacío? ¿Cuántas veces sobrepasa su energía a la de un fotón de luz ultravioleta de 331.5 nm?
Constante de Planck h = $6.63\cdot10^{-34}$ J·s; velocidad de la luz = $3\cdot10^{8}$ m/s; 1 nm = 10^{-9} m

Usando la expresión de la velocidad de la luz en el vacío:

$$c = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\cdot 10^{8}}{1021} \rightarrow \boldsymbol{\lambda = 2.93 \cdot 10^{5}\ m}$$

La energía asociada al rayo gamma es, usando la ecuación de Planck:

$$E_{\gamma} = h \cdot f = 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 10^{21} \rightarrow \boldsymbol{E_{\gamma} = 6.63 \cdot 10^{-19}\ Jul}$$

La energía asociada a un fotón de luz ultravioleta es:

$$E_{UV} = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^{8}}{331.5 \cdot 10^{-9}} \rightarrow \boldsymbol{E_{UV} = 6 \cdot 10^{-19}\ Jul}$$

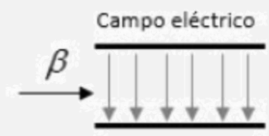
Por tanto:

$$\frac{E_{\gamma}}{E_{UV}} = \frac{6.63 \cdot 10^{-19}}{6 \cdot 10^{-19}} = \boldsymbol{1.1 \cdot 10^{6}\ veces}$$

Es decir, la luz UV tiene $1.1\cdot10^{6}$ veces la energía de los rayos γ.

5.- Conteste razonadamente a las siguientes preguntas sobre las partículas β.

a) Un núcleo radiactivo de número atómico 53 y número másico 131 se desintegra emitiendo una partícula β. ¿Cuáles serán los números atómico y másico del núcleo resultante?
b) Si la partícula β emitida se hace entrar en un campo eléctrico orientado en la forma que se indica en la figura, ¿se desviará hacia arriba o hacia abajo? Explicar.



La emisión de una partícula β aumenta en una unidad el Z y no varía el A:

$${}^{131}_{53}X \rightarrow {}^{131}_{54}\boldsymbol{X} + {}^{0}_{+1}\beta$$

Es decir, el núcleo resultante, tendrá como número atómico 54 y el mismo número másico (131).

La partícula β emitida es un electrón, es decir, está cargado negativamente. Cuando una partícula cargada penetra en una región donde hay un campo eléctrico experimenta una fuerza igual al producto de su carga por la intensidad del campo eléctrico:

$$\vec{F}_e = Q \cdot \vec{E}$$

Por lo que el sentido de la trayectoria dependerá del signo de la carga. En el caso de cargas negativas, la fuerza experimentada es en el sentido opuesto del campo eléctrico, por lo que en este caso, el electrón se desviará **hacia arriba**.

Cuestión Experimental:

6.- Para medir la aceleración de la gravedad se han colgado del techo de un taller anexo al laboratorio de Física varios péndulos simples de distintas longitudes y se han medido los tiempos invertidos por cada uno de ellos para completar 5 oscilaciones (véase la tabla). Calcular la aceleración de la gravedad.

L (cm)	t(s)
220	14.9
302	17.4
401	20.1
502	22.5

El periodo, la longitud y la aceleración de la gravedad, para un péndulo simple, están relacionadas según:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \rightarrow g = 4\pi^{2}\frac{L}{T^{2}}$$

El periodo de oscilación lo calculamos dividiendo el tiempo que invierte cada péndulo en completar las 5 oscilaciones. Por último, la aceleración de la gravedad será la media aritmética de las aceleraciones calculadas para cada péndulo:

L (m)	t(s)	$T = \frac{t}{5}$	$g = 4\pi^{2}\frac{L}{T^{2}}$
2.20	14.9	2.98	9.78
3.02	17.4	3.48	9.84
4.01	20.1	4.02	9.79
5.02	22.5	4.5	9.78

$$\boldsymbol{g = 9.78\ {}^{m}/_{s^{2}}}$$

Bárbara Cánovas Conesa

637 720 113

Opción B

Problemas:

1.- Un asteroide de 10^{13} kg viaja directamente en rumbo de colisión hacia un planeta de masa $6.39 \cdot 10^{23}$ kg. Cuando se encuentra a una distancia de 20000 km del centro, su velocidad respecto al planeta es de 4 km/s.

a) Calcular la energía mecánica del asteroide.
b) Si el radio del planeta es 3390 km, calcular la velocidad del asteroide en el momento del impacto contra la superficie planetaria y, suponiendo que toda la energía cinética se convierte en calor, calcular la energía desprendida en el choque.
c) Este planeta tiene un pequeño satélite que describe una órbita circular con una velocidad de 2.69 km/s. ¿A qué altura sobre la superficie se encuentra dicho satélite?

Dato: constante de gravitación $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}

La energía mecánica total del asteroide será la suma de la cinética y la potencial gravitatoria. La calculamos a 20.000 km del centro del planeta:

$$E_m = E_C + E_p = \frac{1}{2} m \cdot v^2 - G\frac{M \cdot m}{r} = \frac{1}{2} 10^{13} \cdot (4000)^2 - 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{6.39 \cdot 10^{23} \cdot 10^{13}}{20000 \cdot 10^3} \rightarrow \boldsymbol{E_m = 5.87 \cdot 10^{19}\ Jul}$$

Al ser el campo gravitatorio conservativo, la energía cinética del asteroide aumenta y la potencial gravitatoria disminuye conforme se acerca a la superficie del planeta. Mientras que su energía mecánica total permanece constante. Por lo que en la superficie del planeta:

$$E_m = E_C + E_p \rightarrow E_m = \frac{1}{2} m \cdot v^2 - G\frac{M \cdot m}{r} \rightarrow v = \sqrt{\left(E_m + G\frac{M \cdot m}{r}\right) \cdot \frac{2}{m}}$$

$$= \sqrt{\left(5.87 \cdot 10^{19} + 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{6.39 \cdot 10^{23} \cdot 10^{13}}{3390 \cdot 10^3}\right) \cdot \frac{2}{10^{13}}} \rightarrow \boldsymbol{v = 6073\ m/s}$$

La energía cinética cuando choca es:

$$E_C = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} 10^{13} \cdot 6073^2 \rightarrow \boldsymbol{E_C = 1.84 \cdot 10^{20}\ Jul = Q}$$

Para que el satélite no se salga de su órbita: $|\vec{F_g}| = |\vec{F_c}|$

$$\left.\begin{array}{l} |\vec{F_g}| = G\dfrac{m \cdot M}{R^2} \\ |\vec{F_c}| = m\dfrac{v^2}{R} \end{array}\right\} \rightarrow G\frac{m \cdot M}{R^2} = m\frac{v^2}{R} \rightarrow R = \frac{G\,M}{v^2} = \frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 6.39 \cdot 10^{23}}{(2690)^2} \rightarrow \boldsymbol{R = 5.89 \cdot 10^6\ m}$$

Este radio es la distancia hasta el centro del planeta, por lo que la altura de la órbita será:

$$h = R - R_T = 5.89 \cdot 10^6 - 3390 \cdot 10^3 \rightarrow \boldsymbol{h = 2.5 \cdot 10^6 m = 2500\ km}$$

2.- En el laboratorio de física tenemos dos pequeñas esferas cargadas, cuyos radios respectivos son 2 cm y 8 cm, que tienen igual carga q_0 = +2 mC. Las esferas están colocadas en posiciones fijas, siendo la distancia de centro a centro entre ellas igual a 5 m. La constante de la ley de Coulomb es $k = 9 \cdot 10^9$ N m^2 C^{-2}.

a) Las dos esferas se conectan usando un hilo conductor muy fino. Calcular la carga y el potencial de cada esfera después de conectarlas.
b) Calcular el campo eléctrico en el punto medio del segmento que las separa después de conectarlas.
c) Calcular la fuerza repulsiva entre ellas después de conectarlas.

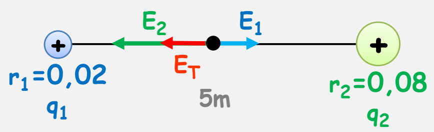
Al estar conectadas por un hilo conductor, las cargas se redistribuyen hasta que se igualan los potenciales eléctricos de las dos esferas. Además, la suma de las cargas de ambas esferas después del contacto es igual a la carga inicial:

$$\left.\begin{array}{l} V = k\dfrac{q}{r} \rightarrow V_1 = V_2 \rightarrow k\dfrac{q_1}{r_1} = k\dfrac{q_2}{r_2} \rightarrow q_1 = \dfrac{r_1}{r_2}q_2 \\ q_1 + q_2 = 2q_0 \end{array}\right\} \rightarrow \frac{r_1}{r_2}q_2 + q_2 = 2q_0 \rightarrow \frac{0.02}{0.08}q_2 + q_2 = 2 \cdot 0.002 \rightarrow 1.25\ q_2 = 4 \cdot 10^{-3} \rightarrow \boldsymbol{q_2}$$

$$\boldsymbol{= 3.2 \cdot 10^{-3} C = 3.2\ mC} \rightarrow q_1 = \frac{0.02}{0.08} \cdot 3.2 \cdot 10^{-3} \rightarrow \boldsymbol{q_1 = 8 \cdot 10^{-4} C = 0.8\ mC}$$

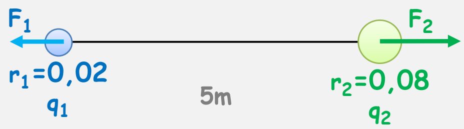
$$V = k\frac{q_1}{r_1} = k\frac{q_2}{r_2} = 9\cdot 10^9\,\frac{8\cdot 10^{-4}}{0.02} \rightarrow \boldsymbol{V = 3.6\cdot 10^8\ V}$$

El campo eléctrico en el punto medio del segmento donde r = 2.5m:



$$\vec{E}_T = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = k\frac{q_1}{{r_1}^2}\vec{\imath} - k\frac{q_2}{{r_2}^2}\vec{\imath} = k\left(\frac{q_1}{{r_1}^2} - \frac{q_2}{{r_2}^2}\right)\vec{\imath} = 9\cdot 10^9\left(\frac{8\cdot 10^{-4}}{2.5^2} - \frac{3.2\cdot 10^{-3}}{2.5^2}\right)\vec{\imath} \rightarrow \boldsymbol{\vec{E}_T = 3.46\cdot 10^6\,(-\vec{\imath})\ {}^{N}/_{C}}$$

La fuerza repulsiva viene dada por la ley de Coulomb:

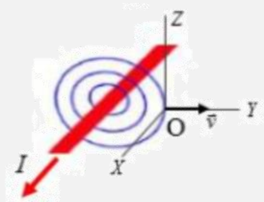


$$F = k\frac{q_1\,q_2}{R^2} = 9\cdot 10^9\,\frac{8\cdot 10^{-4}\cdot 3.2\cdot 10^{-3}}{5^2} \rightarrow \boldsymbol{F = 921.6\ N}$$

Cuestiones:

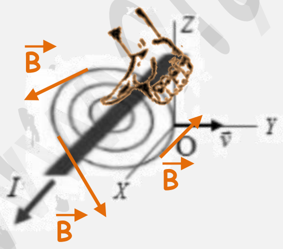
3.- Un conductor rectilíneo muy largo transporta la corriente I tal y como se indica en la figura, donde también se representan las líneas del campo magnético que genera. Contestar razonadamente a las siguientes cuestiones:

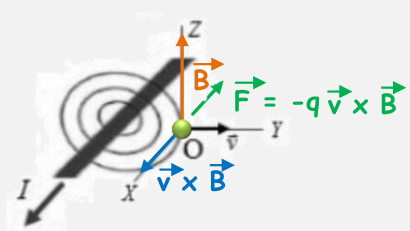
a) Dibujar sobre el esquema la dirección y sentido del campo magnético.
b) Suponiendo que una partícula cargada negativamente cuya velocidad es $\vec{v}$ pasa por el origen de coordenadas O mostrado en la figura, ¿cuál es la dirección y sentido de la fuerza que actúa sobre ella en ese instante?



Según la regla de la mano derecha, cuando un conductor transporta la corriente tal y como se indica en la figura, el sentido del campo magnético es antihorario visto desde la parte anterior.

La fuerza que actúa sobre una partícula cargada en un campo magnético es $\vec{F} = -q\,\vec{v}\times\vec{B}$. En el origen de coordenadas este producto vectorial tiene el sentido positivo del eje x. Al ser la carga negativa, la fuerza que actuará sobre ella estará dirigida en el sentido negativo del eje X.





4.- Acerca de la masa y la energía.

a) Explicar brevemente el significado de la ecuación de Einstein $E = mc^2$.
b) Si una partícula y su antipartícula chocan, se aniquilan entre si convirtiendo toda su masa en energía, que es liberada en el proceso. Calcular la energía liberada en el choque de un electrón e^- y un positrón e^+, expresando el resultado en eV.

Masa electrón = masa positrón = $9.1\cdot 10^{-31}$ kg; velocidad de la luz = $3\cdot 10^8$ m/s; 1 eV = $1{,}602\cdot 10^{-19}$ J

La ecuación plantea la equivalencia entre masa y energía. En palabras del propio Einstein: "*masa y energía son esencialmente análogas, pues sólo son expresiones del mismo ente*". Es decir, establece que la masa y la energía pueden interconvertirse, existiendo un factor de proporcionalidad entre ellas, el cuadrado de la velocidad de la luz (c^2). Esto permite calcular la energía equivalente a una masa dada y viceversa.

Bárbara Cánovas Conesa

637 720 113

Para calcular la energía liberada en el choque usamos la ecuación de Einstein:

$$E = mc^2 = 2 \cdot m_e \cdot c^2 = 2 \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \rightarrow E = 1.64 \cdot 10^{-19} Jul \cdot \frac{1\ eV}{1.602 \cdot 10^{-19}\ Jul} \rightarrow \boldsymbol{E = 1.02 \cdot 10^6\ eV}$$

5.- ¿A qué se refiere el concepto dualidad onda-corpúsculo? Explicarlo brevemente y comparar la longitud de onda de De Broglie de una partícula de 0.1 gramos que se mueve a 6400 m/s con la longitud de onda de un electrón que viaja a la misma velocidad.
Constante de Planck h = $6.63 \cdot 10^{-34}$ J·s; masa electrón me = $9.1 \cdot 10^{-31}$ kg

La dualidad onda-corpúsculo consiste en la capacidad de las partículas subatómicas de comportarse o de tener propiedades tanto de partículas como de ondas. De Broglie propuso que los electrones presentaban características tanto ondulatorias como corpusculares comportándose de uno u otro modo dependiendo del experimento específico, desarrollando la teoría matemática que describe las llamadas ondas de materia: toda partícula en movimiento lleva asociada una onda, tal que su longitud de onda viene dada por:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$$

La materia tiene, por tanto, naturaleza dual: puede comportarse como onda o como partícula. El aspecto ondulatorio queda prácticamente anulado cuando consideramos objetos macroscópicos, pero cuando consideramos partículas de tamaño subatómico, la dualidad entre onda y partícula es patente.

Partícula de 0.1 gr a 6400 m/s:

$$\lambda_p = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{10^{-4} \cdot 6400} \rightarrow \boldsymbol{\lambda_p = 1.04 \cdot 10^{-33}\ m}$$

Electrón a 6400 m/s:

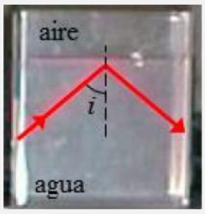
$$\lambda_e = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{9.11 \cdot 10^{-31} \cdot 6400} \rightarrow \boldsymbol{\lambda_e = 1.14 \cdot 10^{-7}\ m}$$

$$\frac{\lambda_e}{\lambda_p} = \frac{1.14 \cdot 10^{-7}\ m}{1.04 \cdot 10^{-33}\ m} \rightarrow \boldsymbol{\frac{\lambda_e}{\lambda_p} = 1.09 \cdot 10^{26}}$$

Es decir, la longitud de onda del electrón es $1.09 \cdot 10^{28}$ veces mayor que la de la partícula.

Cuestión Experimental:

6.- Un rayo láser procedente de la parte inferior izquierda de la figura alcanza la superficie del agua que llena parcialmente la cubeta, y se observa que se refleja sin que haya ningún rayo refractado que atraviese la superficie pasando al aire que hay encima.



a) Explicar por qué se produce este fenómeno.
b) ¿Tiene algo que ver en este fenómeno el ángulo i con el que incide el rayo de luz por debajo de la superficie?

Índice de refracción del agua: 4/3; índice de refracción del aire: 1.

Este fenómeno se conoce como reflexión total, ocurre cuando la luz pasa de un medio óptimamente más denso (con mayor índice de refracción $n_1 = 1.34$) a otro medio óptimamente menos denso (con menor índice de refracción $n_2 = 1$). El rayo de luz incidente, se refracta de tal modo que no es capaz de atravesar la superficie entre ambos medios reflejándose completamente y quedando confinado totalmente el haz luminoso en el medio ópticamente más denso por cuyo interior se propaga.

La condición necesaria para que se de este fenómeno es que el ángulo de incidencia sea mayor o igual al ángulo de incidencia crítico o ángulo límite (θ_c). Cuando el ángulo del rayo incidente es el θ_c, el ángulo de salida del rayo reflejado es de 90°. Para todos los ángulos de incidencia mayor del θ_c, la luz deja de atravesar la superficie entre ambos medios y es reflejada internamente de manera total.

Podemos calcular el valor de θ_c con la ley de Snell:

$$n_1 \cdot sen\ \hat{\imath} = n_2 \cdot sen\ \hat{r} \rightarrow \frac{4}{3} sen\ \theta_C = 1\ sen\ 90° \rightarrow \theta_C = arc.sen \left(\frac{3}{4}\right) \rightarrow \boldsymbol{\theta_C = 48.6°}$$