PROBLEMA 1.- Una onda viajera que se propaga por un medio elástico está descrita por la ecuación

$$y(x,t) = 2 \cdot 10^{-3} \sin(5\pi x - 4000\pi t + \pi/6)$$

Las unidades de *x* son metros, las de *t* son segundos y las de la amplitud son milímetros.

(a) Calcular su frecuencia, su periodo, su longitud de onda y su velocidad de propagación.

(b) ¿Cuál es la diferencia de fase entre dos puntos del medio separados una distancia de 10 cm? ¿Cuánto cambia la fase de una partícula del medio al cabo de una milésima de segundo?

(c) Calcular la elongación y la velocidad de vibración de una partícula del medio situada en el origen de coordenadas en el instante *t* = 0.

(a) Parámetros de la onda viajera

Datos
$$\begin{cases} A = 2\cdot 10^{-3}\ \text{mm} = 2\cdot 10^{-6}\ \text{m} \\ \omega = 4000\,\pi\ \text{rad/s} \\ k = 5\,\pi\ \text{rad/m} \end{cases}$$

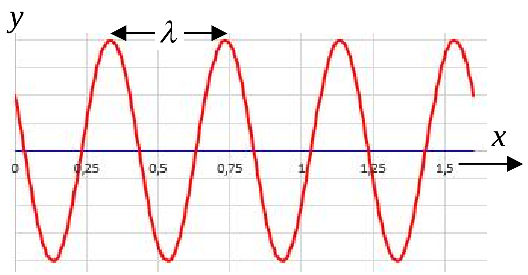
$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{4000\pi}{2\pi} = 2000\ \text{Hz} \qquad \lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{5\pi} = 0.4\ \text{m}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2000} = 5\cdot 10^{-4}\ \text{s} \quad (0.5\ \text{ms}) \qquad v = \frac{\omega}{k} = \frac{4000\pi}{5\pi} = 800\ \text{m/s}$$

(b) Diferencias de fase

Puesto que λ = 0.4 m y una onda completa corresponde a 2π rad, aquellos puntos que están separados por una distancia 0.1 m = λ /4 tienen una diferencia de fase de $\pi/2$ rad.

$$\delta = 2\pi\frac{\Delta x}{\lambda} = 2\pi\frac{\lambda/4}{\lambda} = \frac{\pi}{2}\ \text{rad}$$



Dado que el periodo es T = 0.5 ms, un razonamiento análogo al anterior nos da

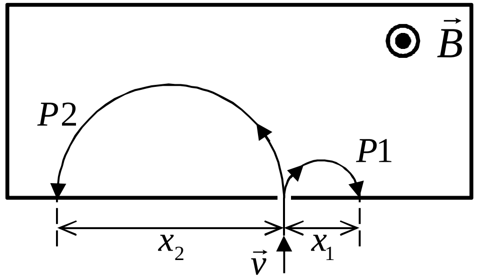
$$\delta = 2\pi\frac{\Delta t}{T} = 2\pi\frac{1}{0.5} = 4\pi\ \text{rad}$$

(c) Elongación $\quad y(0,0) = 2\cdot 10^{-3}\sin\frac{\pi}{6}\ \text{mm} = 10^{-3}\ \text{mm} = 10^{-6}\ \text{m}$

Velocidad de vibración $\quad \frac{dy}{dt} = \dot{y}(x,t) = 2{\cdot}10^{-6}(-4000\pi)\cos\left(5\pi\, x - 4000\pi\, t + \frac{\pi}{6}\right)\ \text{m}$

$$\dot{y}(0,0) = 2{\cdot}10^{-6}(-4000\pi)\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)\ \text{(m/s)} \qquad \dot{y}(0,0) = -8{\cdot}10^{-3}\pi\frac{\sqrt{3}}{2} = -4{\cdot}10^{-3}\pi\sqrt{3}\ \text{m/s} = -0.0218\ \text{m/s}$$

PROBLEMA 2.- Dos partículas cargadas, *P1* y *P2*, de masas iguales *m* = 3·10^{-6} kg, entran en una región donde existe un campo magnético uniforme perpendicular (*B* = 0.50 T) orientado según se indica en la figura. A su entrada, las dos partículas tienen la misma velocidad, *v* = 200 m/s. Una vez dentro, las partículas se separan siguiendo las trayectorias semicirculares indicadas, siendo x_1 = 20 cm y x_2 = 50 cm.



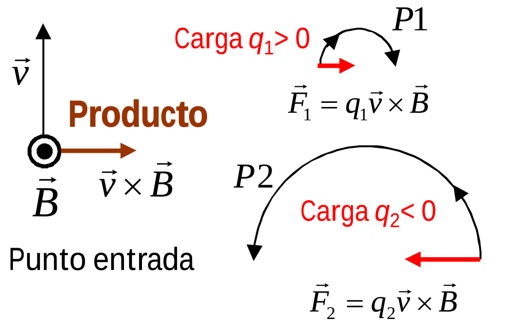
(a) Explicar razonadamente el signo de la carga de cada partícula y determinar el valor de dichas cargas.

(b) Calcular la energía cinética de las partículas y la aceleración debida a la fuerza magnética que actúa sobre cada una de ellas.

(c) Calcular el tiempo invertido por cada partícula en recorrer su respectiva trayectoria semicircular.

(a) Determinación del signo de la carga de cada partícula. Nos basamos en que la fuerza magnética dentro del campo ***B*** viene dada por $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$

Esta fuerza magnética es una fuerza perpendicular a la velocidad, y por tanto actúa como una fuerza centrípeta que hace curvarse la trayectoria de la partícula en el mismo sentido que el producto $\vec{v} \times \vec{B}$ si la carga *q* es positiva y en sentido contrario si la carga *q* es negativa.



Cálculo de las cargas: igualamos la fuerza magnética sobre cada partícula con la fuerza centrípeta necesaria para que cada partícula describa una órbita de radio *x*/2

$$F_1 = q_1 v\, B = m\frac{v^2}{(x_1/2)} \qquad q_1 = \frac{2m\,v}{B\,x_1} = 0.0120\ \text{C}$$

$$F_2 = q_2 v\, B = m\frac{v^2}{(x_2/2)} \qquad q_2 = \frac{2m\,v}{B\,x_2} = 0.0048\ \text{C}$$

(por su trayectoria sabemos que es negativa)

$$q_2 = -0.0048\ \text{C}$$

(b) Energías cinéticas iguales (mismas masa y velocidad, el módulo de la velocidad no cambia)

$$K_1 = K_2 = \frac{1}{2}mv^2 = 0.06\ \text{J}$$

Aceleraciones

$$a_1 = \frac{F_1}{m} = \frac{q_1}{m}v\,B = 4.0\cdot 10^5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

$$a_2 = \frac{F_2}{m} = \frac{q_2}{m}v\,B = 1.6\cdot 10^5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

(c) Tiempos: la velocidad angular -ángulo recorrido (π rad) dividido por el tiempo invertido- es igual a la velocidad dividida por el radio de la órbita.

$$\omega_1 = \frac{\pi}{t_1} = \frac{v}{(x_1/2)} \qquad t_1 = \frac{\pi\, x_1}{2v} = 1.57\cdot 10^{-3}\ \text{s}$$

$$\omega_2 = \frac{\pi}{t_2} = \frac{v}{(x_2/2)} \qquad t_2 = \frac{\pi\, x_2}{2v} = 3.93\cdot 10^{-3}\ \text{s}$$

PREGUNTA 3.- ¿A qué se refiere el concepto de velocidad de escape desde la superficie de un planeta? Deducir su expresión a partir de consideraciones de energía.

La velocidad de escape desde la superficie de un planeta es la velocidad mínima que debe tener un cuerpo situado en la superficie de dicho planeta para poder alejarse indefinidamente del mismo de forma que su velocidad final tienda a cero cuando la distancia tienda a infinito. O dicho de otro modo, es la velocidad necesaria para que la energía cinética del objeto situado en la superficie del planeta cancele exactamente la energía potencial del sistema ligado planeta + objeto, y el sistema quede en un estado de energía mecánica total igual a cero.

Energía potencial del sistema planeta (masa *M*, radio *R*) + objeto (masa *m*) situado en la superficie $U = -G\dfrac{M\,m}{R}$

Energía cinética del objeto con velocidad de escape $K = \dfrac{1}{2} m\, v_{esc}^2$

Energía mecánica del sistema *M*+*m* igual a cero: $E = U + K = -G\dfrac{M\,m}{R} + \dfrac{1}{2} m\, v_{esc}^2 = 0$

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Depende de la masa del planeta, pero no de la del objeto

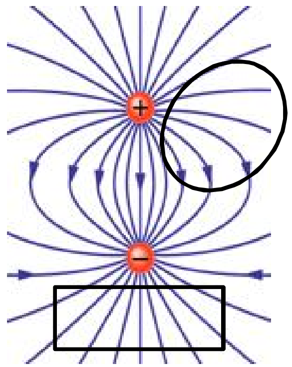
PREGUNTA 4.- El isótopo radiactivo plutonio-239 (número atómico 94) se desintegra emitiendo una partícula α y dando lugar al núcleo que llamamos B, éste al C y éste al D. Cada uno de ellos se desintegra a su vez emitiendo la partícula que se indica.

$$^{239}_{94}\mathrm{Pu} \xrightarrow{\alpha} \mathrm{B} \xrightarrow{\alpha} \mathrm{C} \xrightarrow{\beta} \mathrm{D}$$

¿Cuál es el número atómico y el número másico del isótopo D?

Cada emisión α reduce en dos unidades el número atómico *Z* y en cuatro el número másico *A*; una emisión β aumenta *Z* en una unidad y mantiene inalterado el valor de *A*.

Núcleo inicial	Emite	*Z*	*A*	Núcleo resultante (no se pide)
Pu		94	239	
↓	α	-2	-4	
B		92	235	U
↓	α	-2	-4	
C		90	231	Th
↓	β	1	0	
D		**91**	**231**	**Pa**



PREGUNTA 5.- La figura representa las líneas de un campo eléctrico creado por dos cargas fijas en sus posiciones respectivas. Explíquese razonadamente si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:
(A).- Si una tercera carga se mueve a lo largo de la trayectoria cerrada indicada por el óvalo de la figura, con salida y llegada en el mismo punto, el trabajo total será positivo, ya que dicha trayectoria se encuentra más cerca de la carga positiva.
(B).- Si una tercera carga se mueve a lo largo de la trayectoria cerrada indicada por el rectángulo de la figura, con salida y llegada en el mismo punto, el trabajo total será negativo, ya que dicha trayectoria se encuentra más cerca de la carga negativa.

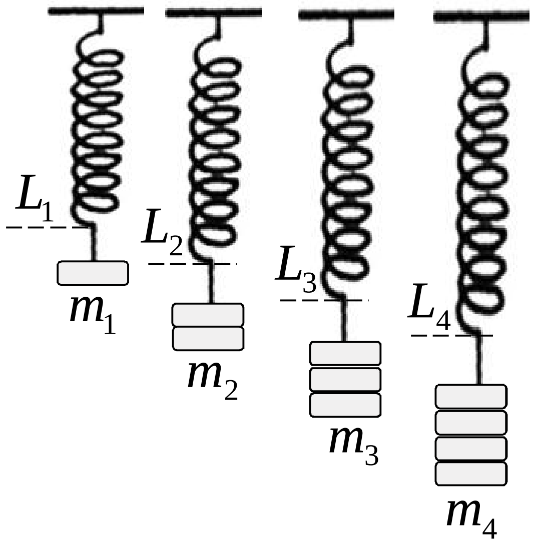
El campo eléctrico creado por las dos cargas positiva y negativa de la figura, cuyas líneas aparecen representadas, **es un campo conservativo** ya que esas dos cargas están fijas en sus posiciones. Por ser conservativo, el trabajo requerido para el movimiento de cualquier otra carga *q* dentro del campo entre dos puntos del mismo no depende del camino recorrido, solo depende de la posición inicial y final y su valor es el opuesto a la variación de energía potencial electrostática que experimenta la carga que se desplace entre ambos puntos

$$W = -\Delta U = q\left(V_i - V_f\right)$$

Aquí ΔU es la variación de energía potencial electrostática y V_i-V_f es la diferencia de potencial entre las posiciones inicial y final de una tercera carga *q* que se mueva dentro de ese campo conservativo.
Como en este caso el enunciado nos indica que el movimiento de la tercera carga *q* ocurre a lo largo de líneas cerradas, con origen y final en la misma posición, la diferencia de potencial será cero (ya que el potencial está unívocamente definido en cada punto), la variación de energía potencial electrostática será por lo tanto igual a cero y el trabajo también será cero, sin importar ni la forma de la trayectoria (ovalada o rectangular), ni su cercanía o lejanía a las cargas que crean el campo, ni tampoco el signo que pudiera tener la tercera carga *q*. Es decir, **las dos afirmaciones (A) y (B) son FALSAS**.

PREGUNTA 6.- En el laboratorio de Física se lleva a cabo un experimento para medir la constante elástica de un muelle cargándolo con distintas masas *m* y midiendo las longitudes indicadas *L*. Determinar la constante elástica del muelle en N/m, explicando cual es el fundamento físico en que nos basamos para hacer este cálculo.

	L (cm)	m (g)
1	16	117
2	19	234
3	22	351
4	25	468



El fundamento físico es la ley de Hooke, que establece que el alargamiento de un cuerpo elástico es proporcional a la fuerza que se ejerce sobre él: es decir, si vamos incrementando sucesivamente la fuerza aplicada sobre el muelle en cantidades iguales, la longitud del mismo se debe incrementar también en cantidades iguales.
El cociente entre ambos incrementos es la constante elástica del muelle.

A medida que aumenta la masa colgada, la fuerza que actúa sobre el muelle se incrementa en una cantidad *F* igual al aumento de masa multiplicado por la aceleración de la gravedad.
F = (masa colgada – masa inicial m_1) × g

A medida que colgamos masas mayores, el muelle sufre un alargamiento *x* dado por
x = Cada longitud (L_2, L_3 ó L_4) – Longitud inicial L_1

De acuerdo con la ley de Hooke debe cumplirse $F = k \cdot x \rightarrow k = \dfrac{F}{x}$

	L (cm)	m (g)	L (m)	m (kg)	$F = mg$ (N)	incremento longitud $x = L - L_1$	incremento fuerza $F = (m - m_1) \times g$ (N)	Constante elástica $k = F/x$
1	16	117	0,16	0,117	1,1466			
2	19	234	0,19	0,234	2,2932	0,03	1,1466	38,22
3	22	351	0,22	0,351	3,4398	0,06	2,2932	38,22
4	25	468	0,25	0,468	4,5864	0,09	3,4398	38,22
				g (m·s^{-2}) =	9,8			

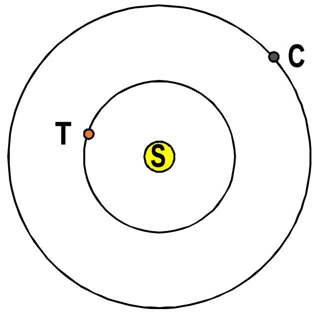
Valor medio
$k = 38.22$ N/m

PROBLEMA 1.- Ceres es un planeta enano, el mayor objeto del cinturón de asteroides, que tarda 4.60 años terrestres en completar una vuelta alrededor del Sol. El diámetro medio y la masa de Ceres son 952.4 km y $9.43{\cdot}10^{20}$ kg, respectivamente.

(a) Admitiendo que describe una órbita circular, calcular la distancia de Ceres al Sol.

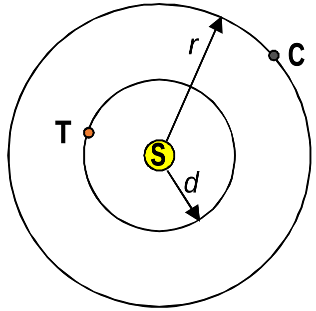
(b) Calcular la aceleración de la gravedad y la velocidad de escape desde la superficie de Ceres, suponiendo que se trata de un cuerpo esférico homogéneo.

(c) Basándonos en datos conocidos de Ceres, calcular la masa del Sol en kg.



Datos. Constante de gravitación G = $6.67{\cdot}10^{-11}$ N·m²·kg⁻². Distancia Tierra-Sol d = $149.6{\cdot}10^{6}$ km. 1 año = 31557600 s.

(a) Aplicamos la 3ª ley de Kepler a la Tierra (periodo orbital T, distancia al Sol d) y a Ceres (periodo orbital T_C, distancia al Sol r): los cuadrados de los periodos de revolución alrededor del Sol son proporcionales a los cubos de los radios de las órbitas.



$$\left(\frac{T_C}{T}\right)^2 = \left(\frac{r}{d}\right)^3 \qquad r = d\left(\frac{T_C}{T}\right)^{2/3} = d\left(\frac{4.60}{1}\right)^{2/3} = 2.77d = 2.77\cdot 149.6\cdot 10^6 = \underline{414\cdot 10^6}\ \text{km}$$

(b) Aceleración de la gravedad en la superficie de Ceres (masa m, diámetro D)

$$g = G\frac{m}{(D/2)^2} = 6.67\cdot 10^{-11}\,\frac{9.43\cdot 10^{20}}{(952400/2)^2} = \underline{0.28}\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Velocidad de escape desde la superficie de Ceres $v = \sqrt{\dfrac{2Gm}{D/2}} = \sqrt{gD} = \sqrt{0.28\cdot 952400} = \underline{514\ \text{m/s}}$

(c) Igualamos la fuerza de atracción newtoniana entre el Sol (masa M) y Ceres con la fuerza centrípeta necesaria para mantener a Ceres en órbita $G\dfrac{M\,m}{r^2} = m\,\omega^2\,r \qquad \omega = \dfrac{2\pi}{T_C}$

$$G\frac{M\,\cancel{m}}{r^2} = \cancel{m}\,\frac{4\pi^2}{T_C^2}\,r \qquad M = \frac{1}{G}\frac{4\pi^2}{T_C^2}r^3$$

Para hacer este cálculo necesitamos la distancia de Ceres al Sol (en metros) y el periodo orbital de Ceres (en segundos)

$$r = 414\cdot 10^6\ \text{km}\cdot 10^3\ \text{m/km} = 414\cdot 10^9\ \text{m}$$

$$T_C = 4.60\ \text{año}\cdot 31557600\,\text{s/año} = 1.45\cdot 10^8\ \text{s}$$

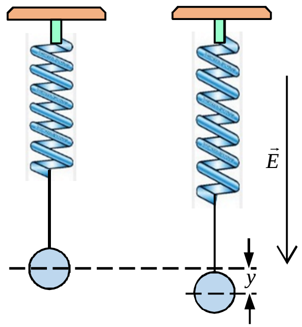
Sustituyendo $M = \dfrac{1}{G}\dfrac{4\pi^2}{T_C^2}r^3 = \underline{1.99\cdot 10^{30}}\ \text{kg}$

PROBLEMA 2.- Un muelle de constante elástica *k* = 3 N/m sujeta una pequeña esfera cargada eléctricamente. Cuando se establece un campo eléctrico de magnitud *E* = 4500 V/m dirigido verticalmente hacia abajo, la esfera alcanza una nueva posición de equilibrio situada más abajo que antes, a una distancia *y* = 2.4 cm (véase figura).

(a) Calcular la carga de la esfera y explicar razonadamente qué signo tiene.

(b) Cortamos el hilo que sujeta la esfera y se observa que ésta cae (dentro del campo eléctrico) con una aceleración de 13 m·s^{-2}. Calcular la masa de la esfera.

(c) Si en lugar de cortar el hilo eliminamos repentinamente el campo eléctrico, la esfera empezará a oscilar. Explicar por qué y hallar el periodo de oscilación.

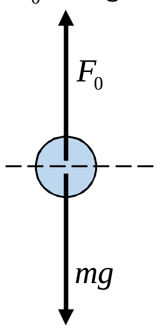


Dato. Aceleración de la gravedad 9.80 m·s^{-2}.

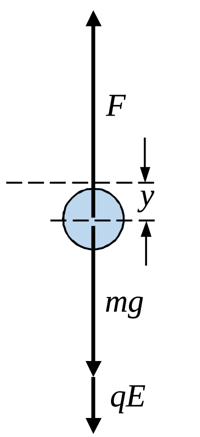
(a) En ausencia de campo eléctrico, la fuerza F_0 ejercida por el muelle compensa el peso de la esfera *mg*

Cuando se instaura el campo eléctrico, el muelle ha de compensar el peso de la esfera *mg* más la fuerza extra hacia abajo que ejerce el campo eléctrico sobre la esfera = *qE*.

$$F_0 = m\,g$$



$$F = m\,g + q\,E$$



Sabemos la fuerza total *F* que ejerce ahora el muelle ha de ser mayor que antes puesto que la nueva posición de equilibrio está por debajo de la anterior, y eso supone que el muelle se estira más, por tanto ejercerá una fuerza mayor.

Acerca del signo de la carga:
El campo eléctrico dirigido hacia abajo produce un estiramiento, esto es, desplaza la esfera cargada en el mismo sentido del campo (hasta que la fuerza elástica del muelle lo compensa). Por lo tanto la carga de la esfera tiene que ser positiva, puesto que las cargas positivas son arrastradas en el mismo sentido del campo, mientras que las negativas lo son en sentido contrario.

La diferencia entre las dos fuerzas *F* y F_0 es igual a la fuerza del campo eléctrico sobre la esfera cargada

$$F - F_0 = q\,E$$

Además, como el muelle obedece la ley de Hooke, se cumplirá que

$$F - F_0 = k\,y$$

Igualando ambas

$$k\,y = q\,E$$

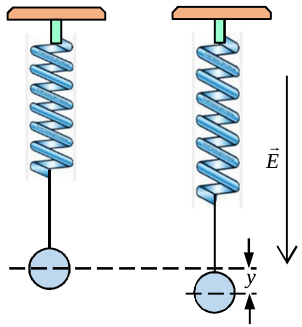
$$q = \frac{k\,y}{E} = \frac{3 \cdot 0.024}{4500} = 1.6 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{C} = \underline{16\ \mu\mathrm{C}}$$

PROBLEMA 2.- Un muelle de constante elástica *k* = 3 N/m sujeta una pequeña esfera cargada eléctricamente. Cuando se establece un campo eléctrico de magnitud *E* = 4500 V/m dirigido verticalmente hacia abajo, la esfera alcanza una nueva posición de equilibrio situada más abajo que antes, a una distancia *y* = 2.4 cm (véase figura).

(a) Calcular la carga de la esfera y explicar razonadamente qué signo tiene.

(b) Cortamos el hilo que sujeta la esfera y se observa que ésta cae (dentro del campo eléctrico) con una aceleración de 13 m·s^{-2}. Calcular la masa de la esfera.

(c) Si en lugar de cortar el hilo eliminamos repentinamente el campo eléctrico, la esfera empezará a oscilar. Explicar por qué y hallar el periodo de oscilación.



Dato. Aceleración de la gravedad 9.80 m·s^{-2}.

(b) Cuando cortamos el hilo la fuerza total que actúa sobre la esfera es la suma de su peso más la fuerza eléctrica hacia abajo

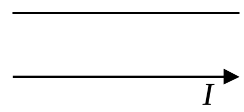
$$mg + qE = m\,a$$ ←Suma de fuerzas = *m a*

$$m = \frac{qE}{a-g} = \frac{16\cdot 10^{-6}\cdot 4500}{13-9.8} = 0.0225\,\text{kg}$$

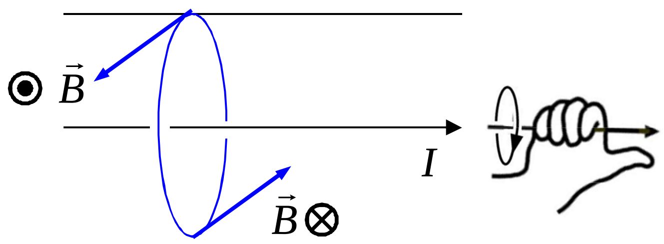
(c) Al eliminar el campo eléctrico desaparece la fuerza *qE* que mantenía a la esfera en una posición de equilibrio situada *y* = 2.4 cm por debajo de la que le corresponde de acuerdo con su peso. Por eso la fuerza ejercida por el muelle hacia arriba queda descompensada. En consecuencia, la esfera será impulsada hacia arriba; cuando alcanza la posición de equilibrio en ausencia de campo eléctrico la velocidad adquirida le hace sobrepasar dicha posición y desde ese momento el muelle estará encogiéndose y ejercerá una fuerza hacia abajo que tiende a frenar la esfera. Además, la fuerza ejercida en cada caso por el muelle sobre la esfera es proporcional a la longitud que se estire o se encoja (*F* = -*ky*). Es decir, la fuerza que el muelle ejerce sobre la esfera es una fuerza recuperadora y por tanto la esfera describirá un movimiento armónico simple de amplitud igual a 2.4 cm y cuyo periodo viene dado por la relación

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{0.0225}{3}} = 0.544\,\text{s}$$

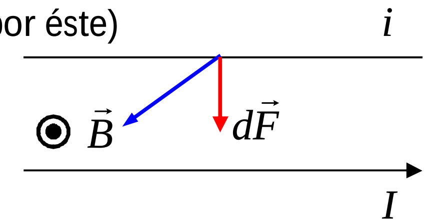
PREGUNTA 3.- En la figura se muestran dos cables paralelos, de los cuales el inferior transporta la corriente *I* en el sentido indicado. Se sabe que los dos cables se atraen entre sí. Explicar razonadamente cuál es el sentido de la corriente que circula por el cable superior (no se valorará una mera afirmación sin justificar).



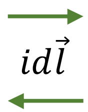
1. El campo magnético creado por la corriente *I* tiene sentido saliente respecto al plano del papel en el lugar que ocupa el conductor superior (regla de la mano derecha)



2. Ambos conductores se atraen, por lo tanto la fuerza que actúa sobre el conductor superior está dirigida hacia abajo. Esa fuerza es la suma de todas las fuerzas elementales $d\vec{F}$ que el campo magnético $\vec{B}$ hace sobre todos los elementos de corriente $id\vec{l}$ del conductor superior (sea *i* la corriente que circula por éste)



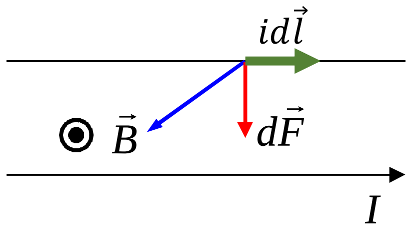
Los elementos de corriente tienen una u otra de estas orientaciones



3. Orientación del elemento de corriente $i\,d\vec{l} \rightarrow$ ha de ser de tal manera que el producto $i\,d\vec{l} \times \vec{B}$ apunte hacia abajo de acuerdo con la condición del enunciado de que ambos conductores se atraen

$$d\vec{F} = id\vec{l} \times \vec{B}$$

4. Para que esta condición se cumpla, el sentido de la corriente en el conductor superior debe ser el mismo que en el inferior tal y como se ilustra en la figura



Para que las corrientes se atraigan han de ser del mismo sentido.

PREGUNTA 4.- El isótopo iodo-131 tiene una semivida de 8 días, mientras que el isótopo iodo-125 tiene una semivida de 60 días. Si partimos de una mezcla que contiene 1 mg de cada uno de estos isótopos, ¿cuánto iodo-131 quedará en la muestra cuando la masa de iodo-125 se haya reducido a la mitad?

Para que la masa de iodo-125 se reduzca a la mitad tienen que transcurrir 60 días (semivida de este isótopo).

Este tiempo supone 60/8 = 7.5 semividas del iodo-131.
Cuando ha transcurrido un tiempo igual a *n* semividas de cualquier isótopo radiactivo, la cantidad remanente de éste es la fracción $1/2^n$ de la cantidad original. Por lo tanto en nuestro caso

$$\text{Cantidad remanente de iodo-131} = \text{cantidad original} \times \frac{1}{2^{7.5}} = 1\,\mathrm{mg} \times \frac{1}{2^{7.5}} = 5.5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{mg}$$

PREGUNTA 5.- La longitud de onda en el vacío de un fotón azul es 474 nm, y la de un fotón rojo es 632 nm. Calcular el cociente entre la energía del fotón rojo y el azul.

Cte. Planck

velocidad de la luz en el vacío

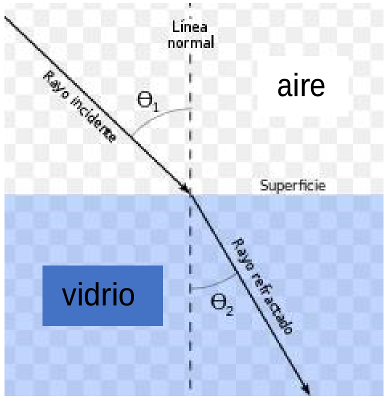
Energía de la radiación electromagnética $E = h \cdot f = h \cdot \dfrac{c}{\lambda}$

longitud de onda en el vacío

frecuencia

$$\frac{E_{ROJO}}{E_{AZUL}} = \frac{f_{ROJO}}{f_{AZUL}} = \frac{\dfrac{c}{\lambda_{ROJO}}}{\dfrac{c}{\lambda_{AZUL}}} \qquad \frac{E_{ROJO}}{E_{AZUL}} = \frac{\lambda_{AZUL}}{\lambda_{ROJO}} = \frac{474}{632} = 0.75$$

PREGUNTA 6.- En el laboratorio de física se monta un experimento para determinar el índice de refracción de una lámina de vidrio, haciendo incidir para ello rayos de luz con distintos ángulos de incidencia θ_1 y midiendo en cada caso el ángulo de refracción θ_2. (a) ¿En qué ley física nos basaremos para hacerlo? (b) Calcular el índice de refracción de la lámina a partir de los datos experimentales mostrados en la tabla.



θ_1 (º)	θ_2 (º)
18	12
24	15
32	20
40	25

(a) De acuerdo con la ley de Snell, la relación entre los ángulos de incidencia y refracción es $\sin\theta_1 = n\sin\theta_2$

En la ecuación anterior ya se tiene en cuenta que el índice de refracción del aire es igual a 1. El índice de refracción de la lámina que tenemos que determinar es *n*.

(b) Puesto que conocemos los ángulos θ_1 y θ_2, calcularemos sus senos y para cada par de valores obtendremos un valor de *n* ($n = \sin\theta_1 / \sin\theta_2$). Con estos valores de *n* haremos la media.

θ_1 (º)	θ_2 (º)	$\sin\theta_1$	$\sin\theta_2$	n
18	12	0,30902	0,20791	1,486
24	15	0,40674	0,25882	1,572
32	20	0,52992	0,34202	1,549
40	25	0,64279	0,42262	1,521
		valor promedio n =		1,532

$$n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$