PROBLEMA 1 JUNIO 2012 Opción A

Un planeta extrasolar gira en torno a una estrella cuya masa es igual al 30% de la masa del Sol. La masa del planeta es 3.24 veces mayor que la de la Tierra, y tarda 877 horas en describir una órbita completa alrededor de su estrella. Calcúlese:

a) ¿Cuántas veces mayor debe ser el radio del planeta respecto al de la Tierra para que la aceleración de la gravedad en su superficie sea la misma que en la superficie de la Tierra?

b) ¿Cuál es la velocidad del planeta en su órbita, suponiendo que la misma es circular?

c) ¿Cuál es la energía mecánica del sistema estrella + planeta?

Datos. Constante gravitación $G = 6.67\cdot10^{-11}$ N·m^2/kg^2;
masa Tierra $m_T = 6\cdot10^{24}$ kg; masa del Sol $M_S = 2\cdot10^{30}$ kg

---

a) Aceleración de la gravedad.

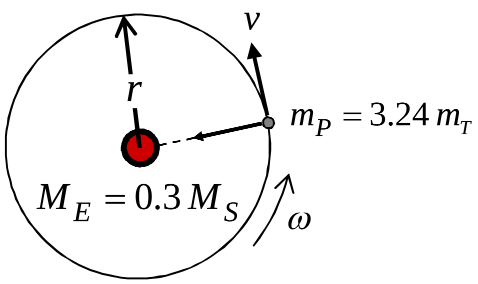
Tierra $g_T = G\dfrac{M_T}{R_T^2}$

Planeta $g_P = G\dfrac{M_P}{R_P^2}$

$$\cancel{G}\frac{M_P}{R_P^2} = \cancel{G}\frac{M_T}{R_T^2}$$

$$\boxed{\frac{R_P}{R_T} = \sqrt{\frac{M_P}{M_T}} = \sqrt{3.24} = 1.8}$$

b) Velocidad en la órbita: conociendo el periodo orbital de 877 h calculamos la velocidad angular del planeta.



$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{877\ \text{h}\cdot3600\ \text{s/h}} = 2\cdot10^{-6}\ \text{rad/s}$$

Igualamos la fuerza de Newton con la fuerza centrípeta:

$$F_N = G\frac{M_E\cdot m_P}{r^2} = m_P\cdot\omega^2\cdot r = F_C \qquad G\frac{M_E}{r^3} = \omega^2$$

$$r = \left(G\frac{M_E}{\omega^2}\right)^{1/3} \qquad r = \left(6.67\cdot10^{-11}\frac{0.30\cdot2\cdot10^{30}}{\left(2\cdot10^{-6}\right)^2}\right)^{1/3} = 2.16\cdot10^{10}\ \text{m} = 2.16\cdot10^{7}\ \text{km}$$

La velocidad orbital es $v = \omega\, r$

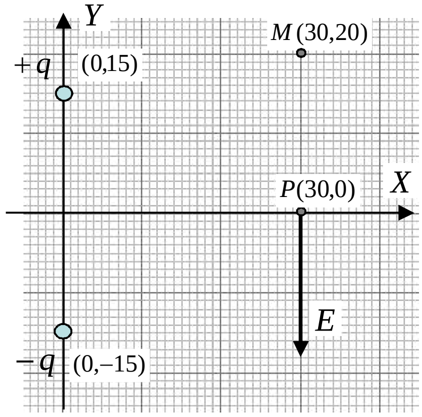
$$\boxed{v = 2\cdot10^{-6}\ \text{rad/s}\cdot2.16\cdot10^{7}\ \text{km} = 43\ \text{km/s}}$$

c) Energía mecánica del sistema estrella + planeta

$$E = E_{Cin} + E_{Pot} = \frac{m_P\cdot v^2}{2} + \left(-G\frac{M_E\cdot m_P}{r}\right) = G\frac{M_E\cdot m_P}{2r} + \left(-G\frac{M_E\cdot m_P}{r}\right) = -G\frac{M_E\cdot m_P}{2r}$$

$$\boxed{E = -6.67\cdot10^{-11}\frac{0.30\cdot2\cdot10^{30}\cdot3.24\cdot6\cdot10^{24}}{2\cdot2.16\cdot10^{10}} = -1.80\cdot10^{34}\ \text{J}}$$

En el sistema de coordenadas de la figura, cuyas distancias se miden en metros, hay dos cargas eléctricas del mismo valor absoluto y signos contrarios que se encuentran fijadas en las posiciones (0, 15) –la carga positiva- y (0, -15) –la carga negativa-. El vector campo eléctrico en el punto *P* (30,0) está dirigido verticalmente hacia abajo y su módulo es igual a 161 V/m. La constante de la ley de Coulomb es $k = 9\cdot 10^9$ N·m²/C².



Todas las coordenadas en metros

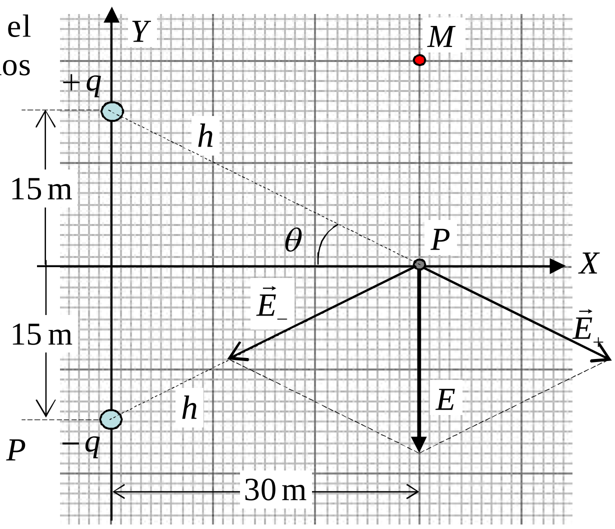
(a) Calcular el valor absoluto *q* de las cargas que crean el campo.

(b) Sabiendo que el potencial en el punto *M*(30, 20) es igual a 2265,3 V, determinar el trabajo necesario para trasladar una carga de -10^{-9} C desde *M* hasta *P*.

(c) Respecto al trabajo a que se refiere el apartado anterior: ¿es un trabajo que hace el campo eléctrico o debe hacerlo un agente externo? Explicar.

(a) El campo cuyo módulo y dirección se indica en el enunciado es la suma de los campos creados por las dos cargas +*q* y -*q*.

Como las dos cargas están colocadas simétricamente respecto al eje horizontal, la distancia *h* de cada una de ellas al punto *P* es la misma



$$h = \sqrt{15^2 + 30^2} = \sqrt{1125} = 33.54 \text{ m}$$

Cálculo del ángulo θ $\quad \tan\theta = \frac{15}{30} = 0.5 \qquad \theta = 26.6^\circ$

Campo creado por +*q* en *P* $\quad E_+ = \frac{k\cdot q}{h^2}$ (módulo)

Campo creado por -*q* en *P* $\quad E_- = \frac{k\cdot q}{h^2}$ (módulo)

Campo total en *P* $\quad E = E_+ \sin\theta + E_- \sin\theta = \frac{2k\cdot q}{h^2}\sin\theta$

Sólo componentes verticales, las horizontales se anulan.

$$\longrightarrow \quad q = \frac{E\cdot h^2}{2k\cdot \sin\theta} \qquad q = \frac{161\cdot 33.54^2}{2\cdot 9\cdot 10^9\cdot 0.4472} = 2.25\cdot 10^{-5}\ \text{C} = 22.5\ \mu\text{C}$$

(b) El potencial en *P* (y en cualquier otro punto del eje *X*) es igual a cero, ya que las dos cargas +*q* y –*q* son equidistantes de los puntos de ese eje, y por tanto el potencial debido a cada una de ellas cancela exactamente el potencial debido a la otra.

Variación de energía potencial entre *P* y *M*: $\quad \Delta U = U_P - U_M = -10^{-9}\,(0 - 2265.3) = 2.2653\cdot 10^{-6}$ J

Trabajo del campo cuando la carga se desplaza $M \rightarrow P$ $\quad W = -\Delta U = -2.2653\cdot 10^{-6}$ J

(c) El potencial en *M* (positivo) es mayor que en *P* (cero). Por lo tanto una carga negativa abandonada en el punto *M* no tenderá a moverse hacia *P*, pues las cargas negativas libres se mueven espontáneamente hacia potenciales cada vez más positivos. Esto quiere decir que el trabajo para desplazar dicha carga desde *M* hasta *P* no lo hace el campo, debe hacerlo un agente externo. Esto concuerda con el signo negativo para el trabajo del campo obtenido antes: el trabajo del campo es negativo, y el trabajo que hará el agente externo tendrá el mismo valor absoluto y signo positivo.

CUESTIÓN 3. Un oscilador armónico vibra con una frecuencia de 5 Hz y una amplitud de 10 cm. ¿Cuántas oscilaciones describirá en 1 minuto y cuál es su velocidad cada vez que pasa por la posición de equilibrio?

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \qquad \omega = 2\pi \cdot 5 = 10\pi = 31.4 \text{ rad/s} \qquad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{5} = 0.2 \text{ s}$$

Número de oscilaciones en un tiempo t = 60 s $\quad t = n\,T \quad n = \frac{t}{T} = \frac{60}{0.2} = 300$ oscilaciones

A partir de la ecuación del MAS $y = A\sin(\omega t + \phi)$ obtenemos la velocidad $\frac{dy}{dt} = A\omega\cos(\omega t + \phi)$

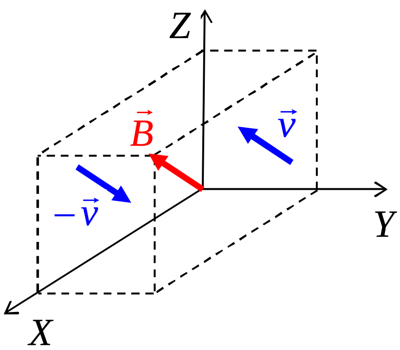
La velocidad cuando pasa por la posición de equilibrio es la máxima posible, es decir, el valor absoluto del término coseno vale la unidad, y por lo tanto

$$v_{equilibrio} = A\omega = 0.1 \cdot 10\pi = \pi \text{ m/s}$$

CUESTIÓN 4. ¿Cómo puede moverse una carga a través de un campo magnético sin experimentar nunca la acción de la fuerza magnética?

Teniendo en cuenta que $\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B}$ resulta que el módulo de la fuerza magnética es

$$F = q\,v\,B\sin\theta$$



donde θ es el ángulo entre el campo magnético y la velocidad.

Siempre que el seno de ese ángulo sea igual a cero, la fuerza magnética también será cero. Esto ocurre cuando θ = 0º (la carga se mueve en la misma dirección y sentido de las líneas del campo magnético) y cuando θ = 180º (la carga se mueve en la misma dirección y sentido contrario).

CUESTIÓN 5. Un núcleo *X* emite una partícula α y se desintegra en un núcleo *Y*, el cual a su vez se desintegra en un núcleo *Z* tras emitir una partícula β. Si los números atómico y másico del núcleo *X* son respectivamente, 90 y 232, ¿cuáles son los números atómico y másico del núcleo *Z*? Justifíquese la respuesta.

Cuando un núcleo se desintegra emitiendo una partícula α su número másico disminuye en 4 unidades y su número atómico disminuye en dos unidades, puesto que la partícula α contiene dos protones y dos neutrones.

Cuando la desintegración ocurre por emisión de una partícula β, el número másico permanece invariable y el número atómico aumenta en una unidad, ya que la partícula β es un electrón y como resultado de su emisión un neutrón del núcleo se convierte en un protón. Por lo tanto, la secuencia de desintegraciones indicada en el enunciado es la siguiente:

$$ {}^{232}_{90}X \xrightarrow{\alpha} {}^{228}_{88}Y \xrightarrow{\beta} {}^{228}_{89}Z $$

Número atómico final: 89; número másico final 228.

Nota: las reacciones indicadas corresponden a las dos primeras etapas de desintegración de la serie radiactiva del torio.

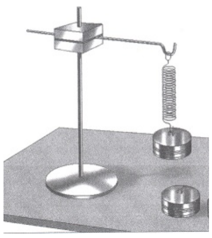
$$ {}^{232}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{228}_{88}Ra \xrightarrow{\beta} {}^{228}_{89}Ac $$

CUESTIÓN 6 (Experimental).

En el laboratorio de Física se dispone de un cronómetro, de un juego de pesas y de un resorte cuya constante elástica se quiere determinar. Para ello se cuelgan diferentes masas del resorte, se deja oscilar libremente y se mide el tiempo que invierte en diez oscilaciones. Los resultados se presentan en la tabla.

10 oscilaciones

t (segundos)	m (gramos)
8,4	357
7,2	265
6,4	210
5,7	168



Explicar el tratamiento de datos necesario para determinar la constante elástica del resorte y hallar su valor.

Nos basamos en la relación entre la constante elástica *k* de un resorte cargado con la masa *m* y su periodo de la oscilación *T*. Como tenemos datos de tiempo de 10 oscilaciones, dividiremos dicho tiempo por 10 para obtener el periodo correspondiente a la oscilación de cada masa (que pasaremos a kg para obtener los resultados en unidades S.I.). Calcularemos un valor *k* para cada ensayo con periodo distinto y finalmente tomaremos la media aritmética.

$$ T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} $$

$$ T = t/10 \qquad k = 4\pi^2 \frac{m}{T^2} $$

10 oscilaciones

t (segundos)	m (gramos)	T (s)	m (kg)	k (N/m)
8,4	357	0,84	0,357	20,0
7,2	265	0,72	0,265	20,2
6,4	210	0,64	0,210	20,2
5,7	168	0,57	0,168	20,4

Media aritmética

$$ k = \frac{20.0+20.2+20.2+20.4}{4} = 20.2 \text{ N/m} $$

JUNIO 2012 Opción B

PROBLEMA 1

Dos ondas viajeras de igual frecuencia se propagan en sentidos contrarios por una cuerda tensa de longitud L = 12 m y su superposición da lugar a una onda estacionaria. Las ecuaciones de las ondas viajeras son

$$y_1 = 0.05\sin(25\pi\, t + 0.25\pi\, x) \qquad y_2 = 0.05\sin(25\pi\, t - 0.25\pi\, x)$$

donde todos los parámetros están expresados en unidades S.I.

a) Calcular la velocidad de propagación de las ondas viajeras y su longitud de onda.

b) Determinar la ecuación de la onda estacionaria resultante de la superposición de ambas. ¿De qué armónico se trata?

c) Calcular la distancia entre dos nodos consecutivos de la onda estacionaria.

Ayuda: conversión trigonométrica diferencia y producto: $\sin(A+B) - \sin(A-B) = 2\cos A\cdot\sin B$

Condición para generar el armónico n de la onda estacionaria: $L = n\,\lambda_n/2$

---

a) Velocidad de propagación. Parámetros tomados de las ecuaciones de onda

$$\omega = 25\pi \text{ rad/s}$$
$$k = 0.25\pi \text{ m}^{-1}$$

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{25\pi}{0.25\pi} = 100 \text{ m/s}$$

Longitud de onda: $\lambda = \dfrac{2\pi}{k} = \dfrac{2\pi}{0.25\pi} = 8 \text{ m}$

b) Ecuación de la onda estacionaria: debemos obtener la suma y_1 + (-y_2), es decir, la diferencia entre ambas funciones, ya que la onda estacionaria es el resultado de la superposición de ambas ondas viajeras, y cuando la onda que se propaga en un sentido se refleja en un extremo de la cuerda tensa, invierte su fase, lo que tendremos en cuenta cambiándola de signo.

<u>Procedimiento b.1</u>. Usamos la fórmula dada en la ayuda, con $A = 25\pi\, t \quad B = 0.25\pi\, x$

$$y_1 - y_2 = 0.05\sin(25\pi\, t + 0.25\pi\, x) - 0.05\sin(25\pi\, t - 0.25\pi\, x) = 0.1\cos(25\pi\, t)\cdot\sin(0.25\pi\, x)$$

<u>Procedimiento b.2</u>. Desarrollamos el seno de una suma o diferencia.

$$y_1 = 0.05\sin(25\pi\, t + 0.25\pi\, x) = 0.05\{\sin(25\pi\, t)\cos(0.25\pi\, x) + \cos(25\pi\, t)\sin(0.25\pi\, x)\}$$

$$y_2 = 0.05\sin(25\pi\, t - 0.25\pi\, x) = 0.05\{\sin(25\pi\, t)\cos(0.25\pi\, x) - \cos(25\pi\, t)\sin(0.25\pi\, x)\}$$

Restando miembro a miembro: $y_1 - y_2 = 0.1\cos(25\pi\, t)\sin(0.25\pi\, x)$

Ecuación de la onda estacionaria $y = y_1 - y_2 = 0.1\cos(25\pi\, t)\sin(0.25\pi\, x)$

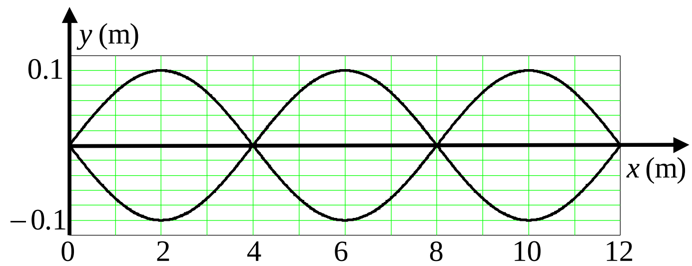
La condición para que aparezca cualquier armónico de una onda estacionaria en la cuerda es que la semilongitud de onda de dicho armónico encaje exactamente un número entero de veces en la longitud de la cuerda. (Véase la ayuda $L = n\,\lambda_n/2$).

TERCER ARMÓNICO

En nuestro caso λ_n = 8 m y la longitud de la cuerda es L = 12 m $\longrightarrow$ $n = 2L/\lambda_n = 2\cdot 12/8 = 3$

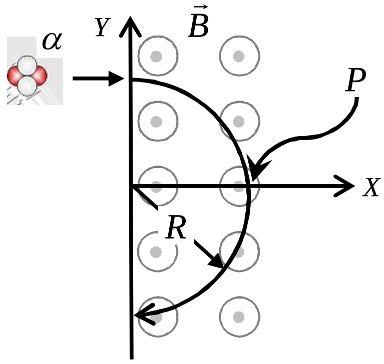
c) Distancia entre nodos consecutivos: igual a una semilongitud de onda.

$$d_3 = \lambda_3/2 = 8/2 = 4 \text{ m}$$



PROBLEMA 2 JUNIO 2012 Opción B

Una partícula α, cuya energía cinética es $5\cdot10^{-17}$ J y que viaja en la dirección del eje *X* (sentido positivo), entra en una región donde hay un campo magnético *B* orientado perpendicularmente. Este campo curva su trayectoria con un radio $R = 31.83\cdot10^{-3}$ m (véase figura).



a) Determinar el valor del campo magnético.

b) Determinar el módulo, la dirección y el sentido de la fuerza magnética ejercida sobre la partícula α cuando ésta cruza el eje *X* (punto *P* indicado en la figura).

c) Calcular qué campo eléctrico (módulo, dirección y sentido) habría que instaurar en la misma región ocupada por el campo magnético de forma que la partícula α continuase su trayectoria rectilínea sin desviarse.

Datos de la partícula α: masa $m = 6.64\cdot10^{-27}$ kg; carga $q = +3.20\cdot10^{-19}$ C.

---

a) La fuerza que experimenta la partícula cargada cuando entra en el campo magnético depende de su carga, de su velocidad y de la magnitud del campo *B*. Esta fuerza es perpendicular a la velocidad (ya que hay un producto vectorial): por lo tanto actúa como una fuerza centrípeta que varía la dirección de la velocidad de la partícula pero no su módulo.

$$\vec{F}_M = q\,\vec{v}\times\vec{B}$$

Igualamos fuerza magnética y fuerza centrípeta

$$\left.\begin{aligned} F_M &= q\,v\cdot B \\ F_C &= \frac{m\,v^2}{R}\end{aligned}\right\} \quad \frac{m\,v^2}{R} = q\,v\cdot B \;\longrightarrow\; B = \frac{m\,v}{q\,R}$$

$$\boxed{B = \frac{6.64\cdot10^{-27}\cdot122750}{3.20\cdot10^{-19}\cdot31.83\cdot10^{-3}} = 8\cdot10^{-2}\ \mathrm{T}}$$

Calculamos la velocidad a partir de la energía cinética

$$E_C = \frac{m\,v^2}{2} \qquad v = \sqrt{\frac{2E_C}{m}} = \sqrt{\frac{2\cdot5\cdot10^{-17}}{6.64\cdot10^{-27}}} = 122750\ \mathrm{m/s}$$

b) En todos los puntos de la trayectoria dentro del campo magnético (el cual está dirigido en el sentido positivo del eje Z), la fuerza que actúa sobre la partícula está dirigida hacia el centro de dicha trayectoria. Cuando la partícula α cruza el eje X, el vector fuerza debe estar alineado con el eje X y dirigido en el sentido negativo del mismo, ya que la velocidad apunta en el sentido negativo del eje Y (figura b).

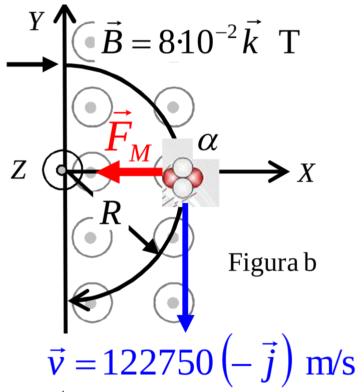


Figura b

$$\vec{F}_M = q\,\vec{v}\times\vec{B} = 3.20\cdot10^{-19}\cdot122750\left(-\vec{j}\right)\times8\cdot10^{-2}\vec{k} \boxed{= 3.14\cdot10^{-15}\left(-\vec{i}\right)}$$

(también puede comprobarse aplicando la regla de la mano derecha)

c) Para que la partícula siguiese una trayectoria rectilínea dentro del campo magnético, haría falta que una fuerza eléctrica $F_E = q\cdot E$, del mismo módulo y sentido opuesto se opusiese a la fuerza magnética indicada en la figura c. Puesto que la carga es positiva, por inspección de la figura se deduce que la dirección del campo electrostático necesario es la del eje Y en sentido positivo.

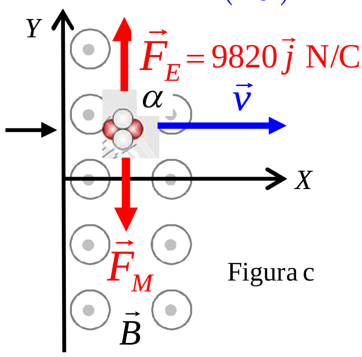


Figura c

Módulo: $q\,v\cdot B = q\,E \rightarrow E = v\cdot B = 122750\cdot8\cdot10^{-2} \boxed{= 9820\ \mathrm{N/C}}$

CUESTIÓN 3. ¿Cómo son en comparación la velocidad de escape desde la superficie de la Tierra para un camión, una pelota de ping-pong y una molécula de oxígeno? ¿Cuál de ellas es mayor?

La velocidad de escape de cualquier cuerpo en la Tierra, viene dada por $v_e = (2G\,M\,/\,R)^{1/2}$, donde G es la constante de gravitación, M es la masa *de la Tierra* y R es el radio *de la Tierra*.
Es decir, la velocidad de escape ***no depende de la masa del cuerpo***, por tanto será la misma para todos.

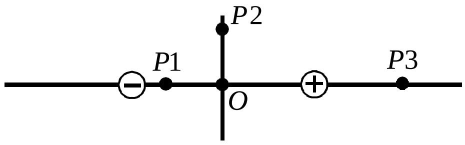
CUESTIÓN 4. Un dipolo eléctrico está formado por dos cargas de igual valor y de signos contrarios separadas por una pequeña distancia. En la figura se presenta el esquema de un dipolo eléctrico donde las dos cargas están situadas simétricamente a ambos lados del origen de coordenadas O. Dígase si cada una de las afirmaciones siguientes es cierta o falsa, explicando brevemente cada respuesta.

a) El campo eléctrico y el potencial en el origen de coordenadas O son ambos iguales a cero.

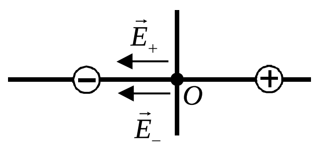
b) El potencial eléctrico en el punto $P1$ es negativo.

c) En el punto $P2$ el potencial eléctrico es igual a cero pero el campo eléctrico no.

d) En el punto $P3$ el potencial eléctrico puede ser positivo o negativo dependiendo del valor de las cargas.

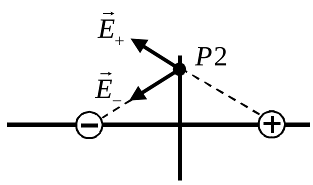


a) La afirmación es FALSA. Aunque el potencial eléctrico sí es cero en el origen (ya que dicho punto está a la misma distancia de dos cargas iguales y el potencial eléctrico es escalar, con lo que dos cantidades de igual valor absoluto y de signos opuestos se anulan), el campo eléctrico no es cero: el campo eléctrico debido a cada carga apunta hacia la izquierda, así que los dos tienen igual sentido y su suma vectorial no se anula.



b) La afirmación es CIERTA, ya que $P1$ está más próximo a la carga negativa que a la positiva, con lo que el valor absoluto del potencial debido a la carga negativa es mayor que el correspondiente a la carga positiva (pues depende inversamente de la distancia) y por tanto la suma será negativa.

c) La afirmación es CIERTA. Por una parte, $P2$ equidista de ambas cargas, así que el potencial será cero (igual razonamiento que el indicado para el potencial en el caso a)). Por otro lado, la orientación del campo eléctrico en $P2$ debido a cada carga es diferente, por lo que su suma vectorial no se anula, así que el campo en $P2$ no es igual a cero.

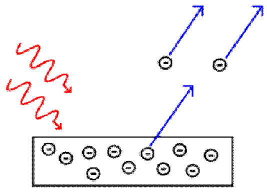


d) La afirmación es FALSA, ya que $P3$ está más próximo a la carga positiva que a la negativa, con lo que el valor absoluto del potencial debido a la carga positiva es siempre mayor que el correspondiente a la carga negativa. Y dado que las dos cargas que forman el dipolo tienen el mismo valor absoluto, la suma de los dos potenciales en el punto $P3$ siempre será positiva. No puede haber valores negativos para el potencial en ese punto.

CUESTIÓN 5. ¿En qué consiste el efecto fotoeléctrico? ¿Qué es el trabajo de extracción?. Explicar brevemente.

El **efecto fotoeléctrico** consiste en la emisión de electrones por un metal cuando es iluminado por radiación electromagnética de cierta frecuencia (luz visible o ultravioleta, en general). Esta radiación electromagnética produce los siguientes fenómenos en el metal:

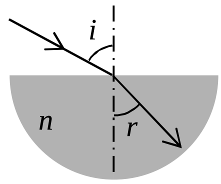
*Arranca electrones de la superficie, para lo cual es preciso que sus fotones tengan una energía mínima para vencer las fuerzas que ligan a los electrones en el metal. Dicha energía mínima se conoce con el nombre de *trabajo de extracción*, y es característica de cada metal, y la frecuencia mínima necesaria para aportar el trabajo de extracción se conoce como *frecuencia umbral*.



*Comunica energía cinética a los electrones liberados (frecuencias superiores a la frecuencia umbral).

El efecto fotoeléctrico se observará siempre que se ilumine una superficie metálica con radiación que tenga una frecuencia igual o superior a la frecuencia umbral. Si se ilumina una superficie con radiación de frecuencia inferior a la umbral, no se producirá desprendimiento de electrones, independientemente de lo intensa que sea la radiación. La intensidad de la radiación solamente tiene efecto, siempre que sea superior a la umbral, en cuanto a desprender un mayor número de electrones, produciendo así una corriente fotoeléctrica mayor.

CUESTIÓN 6 (Experimental). Se hace incidir un rayo de luz sobre la cara plana de una sección de lente semicircular hecha de vidrio. El rayo forma un ángulo i con la normal y se refracta dentro de la lente con un ángulo r (véase esquema). El experimento se repite cuatro veces. En la tabla se dan (en grados) los valores de los ángulos i y los ángulos r correspondientes. (a) Explicar cómo puede determinarse con estos datos el índice de refracción n del vidrio de la lámina. (b) Calcúlese el valor de dicho índice y el valor de la velocidad de la luz dentro del vidrio. Velocidad de la luz en el vacío $c = 3\cdot10^8$ m/s.



i (º)	r (º)
12	7,5
28	17,0
44	26,5
58	33,0

(a) De acuerdo con la ley de Snell, el producto del índice de refracción del medio del cual proviene la luz por el seno del ángulo de incidencia es igual al producto del índice de refracción del medio donde se refracta la luz por el seno del ángulo de refracción. Teniendo en cuenta que el medio del que proviene la luz es aire, cuyo índice de refracción es muy próximo a la unidad, ha de verificarse que

$$\sin i = n \sin r$$

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

Tomaremos los senos de los ángulos de incidencia y refracción y calcularemos el cociente. Finalmente haremos la media aritmética para obtener el promedio de los índices de refracción.

(b)

i (º)	r (º)	$\sin i$	$\sin r$	n
12	7,5	0,2079	0,1305	1,59
28	17,0	0,4695	0,2924	1,61
44	26,5	0,6947	0,4462	1,56
58	33,0	0,8480	0,5446	1,56

Media aritmética

$$n = \frac{1.59+1.61+1.56+1.56}{4} = 1.58$$

$$\text{Índice refracción} = \frac{\text{Velocidad de la luz en el vacío}}{\text{Velocidad de la luz en el medio}} \qquad n = \frac{c}{v} \qquad v = \frac{c}{n} = \frac{3\cdot10^8}{1.58} = 1.90\cdot10^8 \text{ m/s}$$