Universidad de Castilla La Mancha – Junio – 2012

Opción A

Problema 1.- 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.

Datos. Constante gravitación G = $6.67 \cdot 10^{-11}$ N·m²/kg²; masa Tierra $m_T = 6 \cdot 10^{24}$ kg; masa del Sol $M_S = 2 \cdot 10^{30}$ kg

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

La primera pregunta la respondemos usando las expresiones de la aceleración de la gravedad para la Tierra y para el Planeta extrasolar, ya que en superficie tiene que ser la misma:

$$\left.\begin{aligned} g_T &= G\frac{M_T}{R_T^2} \\ g_P &= G\frac{M_P}{R_P^2} \end{aligned}\right\} \rightarrow g_T = g_P \rightarrow G\frac{M_T}{R_T^2} = G\frac{M_P}{R_P^2} \rightarrow \frac{R_P}{R_T} = \sqrt{\frac{M_P}{M_T}} = \sqrt{\frac{3.24\,M_T}{M_T}} = \sqrt{3.24} \rightarrow \boldsymbol{\frac{R_P}{R_T} = 1.8}$$

Por lo tanto, el radio del planeta es 1.8 veces mayor que el terrestre.

Para que el planeta no se salga de su órbita, debe cumplirse: $|\vec{F_g}| = |\vec{F_c}|$

$$\left.\begin{aligned} |\vec{F_g}| &= G\,\frac{m \cdot M}{R^2} \\ |\vec{F_c}| &= m\frac{v^2}{R} = m\,\frac{(\omega\,R)^2}{R} = m\,\omega^2\,R = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R \end{aligned}\right\} \rightarrow G\,\frac{m \cdot M}{R^2} = m\,\frac{4\pi^2}{T^2}\,R \rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{G\,M\,T^2}{4\pi^2}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{6.67 \cdot 10^{-11}\,(0.30 \cdot 2 \cdot 10^{30})\,(877 \cdot 3600)^2}{4\pi^2}} \rightarrow \boldsymbol{R = 2.16 \cdot 10^{10}\,m}$$

Una vez conocido el radio, podemos averiguar la velocidad orbital:

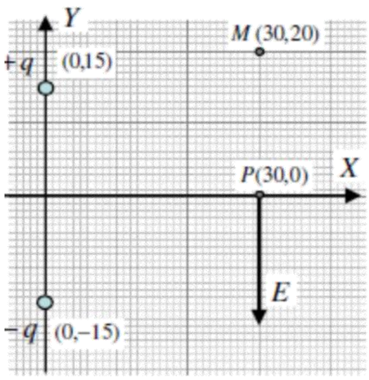
$$v = \omega\,R = \frac{2\pi}{T} \cdot R = \frac{2\pi}{877 \cdot 3600} \cdot 2.16 \cdot 10^{10} \rightarrow \boldsymbol{v = 4.29 \cdot 10^4\,{}^{m}/_{s}}$$

La energía mecánica del sistema estrella + planeta, será igual a la suma de la energía cinética y potencial gravitatoria.

$$E_M = E_C + E_P = \frac{1}{2}m_P v^2 + \left(-G\,\frac{m_P\,m_e}{R}\right) = \frac{1}{2}3.24 \cdot 6 \cdot 10^{24}\left(4.29 \cdot 10^4\right)^2 - 6.67 \cdot 10^{-11}\,\frac{\left(3.24 \cdot 6 \cdot 10^{24}\right)\left(0.30 \cdot 2 \cdot 10^{30}\right)}{2.16 \cdot 10^{10}} \rightarrow \boldsymbol{E_M}$$

$$\boldsymbol{= -1.81 \cdot 10^{34} Jul}$$

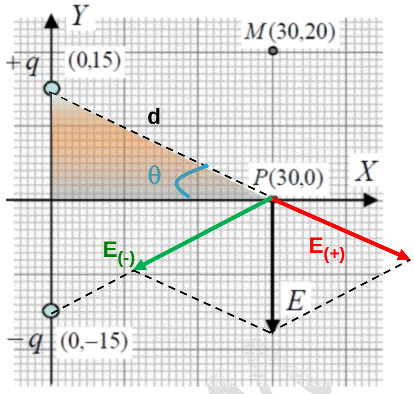
Problema 2.- En el sistema de coordenadas de la figura, cuyas distancias se miden en metros, hay dos cargas eléctricas del mismo valor absoluto y signos contrarios que se encuentran fijadas en las posiciones (0, 15) –la carga positiva- y (0, -15) –la carga negativa-. El vector campo eléctrico en el punto P (30,0) está dirigido verticalmente hacia abajo y su módulo es E = 161 V/m. La constante de la ley de Coulomb es k = $9 \cdot 10^9$ N·C²/m².



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.

Como la posición de las dos cargas con respecto al punto P es simétrica, la distancia que las separa del punto y el ángulo será el mismo para las dos. La distancia la calculamos gracias al teorema de Pitágoras y el ángulo mediante trigonometría:

$$d = \sqrt{15^2 + 30^2} \rightarrow \boldsymbol{d = 33.54\,m} \qquad\qquad \theta = arc.tg\left(\frac{15}{30}\right) \rightarrow \boldsymbol{\theta = 26.56°}$$



El módulo de ambos vectores será el mismo, ya que la distancia y las cargas son iguales:

$$|\vec{E}| = k\,\frac{q}{d^2} = 9\cdot 10^9\,\frac{q}{33.54^2} \rightarrow |\vec{E}| = \mathbf{8\cdot 10^6 q}\ {}^{N}/_{C}$$

El campo eléctrico total será la suma vectorial de los dos vectores debidos a las dos cargas:

$$\vec{E}_T = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$

Debido a la simetría de cargas, las componentes vectoriales en el eje x se anulan, por tanto, el potencial en el punto P:

$$161(-\vec{j}) = |\vec{E}|\,sen\,\theta\,(-\vec{j}) + |\vec{E}|\,sen\,\theta\,(-\vec{j})$$

$$-161 = -8\cdot 10^6 q\,sen\,26.56 - 8\cdot 10^6 q\,sen\,26.56 \rightarrow -161 = -7.15\cdot 10^6 q \rightarrow \boldsymbol{q}$$

$$= \mathbf{2.25\cdot 10^{-5}C = 22.5\ \mu C}$$

El trabajo necesario para llevar la carga desde M a P es igual a:

$$W_{M\rightarrow P} = -q(V_P - V_M)$$

Por otro lado, el potencial en un punto viene dado por:

$$V = k\,\frac{q}{d}$$

Como vemos en la figura, en cualquier punto situado sobre el eje x, el potencial será nulo, ya que debido a la simetría de cargas el potencial debido a una carga es igual en módulo pero de signo opuesto al de la otra carga, por lo que se anularían. Por lo que el trabajo será igual a:

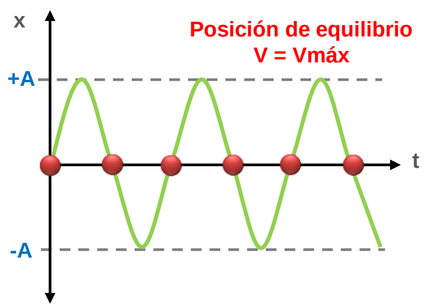
$$W_{M\rightarrow P} = -(-10^{-9})(0 - 2265.3) \rightarrow \boldsymbol{W_{M\rightarrow P} = -2.26\cdot 10^{-6}\ Jul}$$

Las cargas negativas se mueven espontáneamente hacia potenciales más positivos. En este caso, la carga negativa situada en el punto M (2265.3 V) no se moverá de forma espontánea hacia el punto P, de menor potencial (0 V). Por lo que el trabajo necesario para realizar dicho movimiento no lo realiza el campo sino un **agente externo** (W < 0).

Cuestión 1.- 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?

El número de oscilaciones en 1 min (60 seg) será:

$$T = \frac{60}{n} \rightarrow n = \frac{60}{T} = \frac{60}{{}^{1}/_{f}} \rightarrow n = 60f = 60\cdot 5 \rightarrow \boldsymbol{n = 300\ oscilaciones}$$



Cada vez que pasa por la posición de equilibrio, la velocidad será la máxima posible. De la ecuación del movimiento armónico simple:

$$x(t) = A\,(\omega t)sen = 0.1\,sen\,(2\pi f\,t) \rightarrow \boldsymbol{x(t) = 0.1\,sen(10\pi t)}$$

La velocidad es la derivada de la posición con respecto al tiempo:

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = 0.1\cdot 10\pi\,cos(120\pi t) \rightarrow \boldsymbol{v(t) = \frac{dx}{dt} = \pi\,cos(10\pi t)}$$

Por último, la velocidad será máxima cuando el cos = +1:

$$\boldsymbol{v_{máx} = \pi\ {}^{m}/_{s}}$$

Cuestión 2.- ¿Cómo puede moverse una carga a través de un campo magnético sin experimentar nunca la acción de la fuerza magnética?

Si la carga se mueve en la dirección del campo magnético, no actúa fuerza alguna sobre ella. La fuerza viene definida por la fuerza de Lorentz:

$$\vec{F} = q\cdot\vec{v}\times\vec{B} = q\,v\,B\,sen\,\theta$$

Siendo θ el ángulo que forman los vectores del campo magnético y la velocidad. Si ambos vectores son paralelos, hay dos posibilidades:

$$\left.\begin{matrix}\theta = 0^\circ\\ \theta = 180^\circ\end{matrix}\right\} \rightarrow sen\,\theta = 0 \rightarrow \boldsymbol{\vec{F} = 0}$$

Si el ángulo es de 0° irá en el mismo sentido que el campo magnético, y si el ángulo es de 180° irá en sentido contrario.

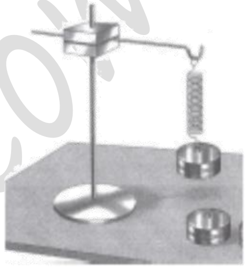
Cuestión 3.- Un núcleo X emite una partícula α y se desintegra en un núcleo Y, el cual a su vez se desintegra en un núcleo Z tras emitir una partícula β. Si los números atómico y másico del núcleo X son respectivamente, 90 y 232, ¿cuáles son los números atómico y másico del núcleo Z? Justifíquese la respuesta.

Cuando un núcleo emite una partícula α $\left({}^{4}_{2}He\right)$ el núcleo resultante tendrá dos protones menos y dos neutrones menos, es decir, su número atómico disminuye en dos unidades y su número másico en cuatro unidades.
En el caso de la emisión de una partícula β $\left({}^{0}_{-1}\beta\right)$ se origina un núcleo con un protón más y un neutrón menos, es decir, su número atómico disminuye en una unidad y su número másico no varía.

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

Por tanto, el número másico será 228 y el atómico 89.

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



t (seg)	m (gr)
8.4	357
7.2	265
6.4	210
5.7	168

La constante elástica del muelle la podemos calcular a partir de la expresión del periodo de oscilación del resorte:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \rightarrow k = 4\pi^2\frac{m}{T^2}$$

El periodo de oscilación lo calculamos dividiendo el tiempo de cada resorte entre las 5 oscilaciones que dan. Por último, la constante elástica del resorte será la media aritmética de las constantes elásticas calculadas para cada masa:

t (seg)	m (gr)	$T = \frac{t}{10\ oscilaciones}$	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

$$k = \frac{20 + 20.2 + 20.2 + 20.4}{4} \rightarrow \boldsymbol{k = 20.2\ {}^{N}/_{m}}$$

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

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

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) Hallar la ecuación de la onda estacionaria resultante de la superposición de ambas. ¿Qué armónico es?
c) Calcular la distancia entre dos nodos consecutivos de la onda estacionaria.

Ayuda: conversión trigonométrica diferencia y producto: $sin(A+B) - sin(A-B) = 2cos\,A \cdot sinB$
Condición para generar el armónico n de la onda estacionaria: $L = n\,{}^{\lambda_n}/_{2}$

De las ecuaciones de las ondas podemos sacar varios parámetros:

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

Por tanto, la velocidad de propagación y la longitud de onda serán:

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{25\pi}{0.25\pi} \rightarrow \boldsymbol{v = 100\ {}^{m}/_{s}} \qquad \lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{0.25\pi} \rightarrow \boldsymbol{\lambda = 8\ m}$$

Bárbara Cánovas Conesa

637 720 113

La onda estacionaria es el resultado de la superposición de ambas ondas viajeras, por lo tanto, la ecuación de la onda estacionaria será la resta (porque viajan en sentidos contrarios) de las dos ecuaciones dadas. Esta resta la podemos hacer o bien con la fórmula que nos dan o bien desarrollando el seno de una diferencia y una suma.

Método 1.- $sen(A+B) - sen(A-B) = 2\cos A \cdot senB$

$$\begin{matrix} A = 25\pi t \\ B = 0.25\pi x \end{matrix} \rightarrow y_1 - y_2 = 0.05\,sen(25\pi t + 0.25\pi x) - sen(25\pi t - 0.25\pi x) = 0.05\,[2\cos(25\pi t)\cdot sen(0.25\pi x)] \rightarrow y = 0.1\cos(25\pi t)\cdot sen(0.25\pi x)$$

Método 2.- $\begin{cases} sen\,(a+b) = sen\,a\cos b + \cos a\ sen\,b \\ sen\,(a-b) = sen\,a\cos b - \cos a\ sen\,b \end{cases}$

$$\left.\begin{matrix} y_1 = 0.05\,sen(25\pi\,t + 0.25\pi\,x) = 0.05[sen(25\pi\,t)\cos(0.25\pi\,x) + \cos(25\pi\,t)\,sen(0.25\pi\,x)] \\ y_2 = 0.05\,sen(25\pi\,t - 0.25\pi\,x) = 0.05[sen(25\pi\,t)\cos(0.25\pi\,x) - \cos(25\pi\,t)\,sen(0.25\pi\,x)] \end{matrix}\right\} \xrightarrow{Restamos} y_1 - y_2$$

$$= 0.05[2\cos(25\pi t)\cdot sen(0.25\pi x)] \rightarrow \ y = 0.1\cos(25\pi t)\cdot sen(0.25\pi x)$$

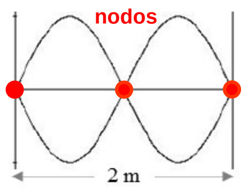
Para calcular el armónico, usamos la condición necesaria para que se genere el armónico:

$$\ell = n\cdot\frac{\lambda}{2} \rightarrow n = \frac{2\,\ell}{\lambda} = \frac{2\cdot 12}{8} \rightarrow n = 3$$

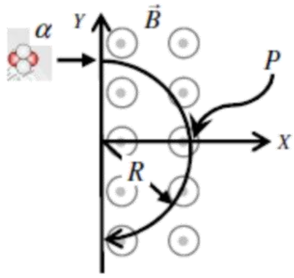
Es decir, se trata del **tercer armónico**.

La mitad de la longitud de onda es la distancia que hay entre dos vientres o nodos consecutivos, por tanto:

$$d = \frac{\lambda}{2} = \frac{8}{2} \rightarrow d = 4\ m$$



Problema 2.- 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 magnético 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 a 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 a continuase su trayectoria rectilínea sin desviarse.

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

Como se aprecia en la figura la $\overrightarrow{F_m}$ actúa como fuerza centrípeta (perpendicular al vector $\vec{v}$), no cambiando el módulo de la velocidad, sólo su sentido. Por tanto la fuerza magnética tiene igual módulo que la fuerza centrípeta:

$$\left.\begin{matrix} |\vec{F}_m| = q\,v\,B\,sen\,\theta \\ |\vec{F}_c| = m\dfrac{v^2}{R} \end{matrix}\right\} \rightarrow |\vec{F}_m| = |\vec{F}_c| \rightarrow q\,v\,B\,sen\,\theta = m\frac{v^2}{R} \rightarrow B = \frac{m\,v}{R\,q\,sen\,90}$$

La velocidad la calculamos a partir de la energía cinética:

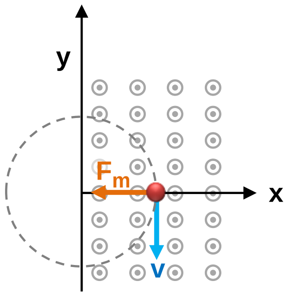
$$E_C = \frac{1}{2}m\,v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2\,E_C}{m}} = \sqrt{\frac{2\cdot 5\cdot10^{-17}}{6.64\cdot10^{-27}}} \rightarrow v = 1.22\cdot10^5\ {}^{m}/_{s}$$

Por tanto:

$$B = \frac{m\,v}{R\,q} = \frac{6.64\cdot10^{-27}\cdot1.22\cdot10^5}{31.83\cdot10^{-3}\cdot3.20\cdot10^{-19}} \rightarrow B = 0.08\,T$$

La fuerza magnética la calculamos con la fuerza de Lorentz:

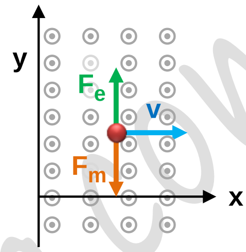
$$\left|\overrightarrow{F_m}\right| = q\,\vec{v}\,\vec{B}\,sen\,\theta = 3.2 \cdot 10^{-19} \cdot 1.22 \cdot 10^{5} \cdot 0.08 \rightarrow \left|\overrightarrow{F_m}\right|$$
$$= \mathbf{3.12 \cdot 10^{-15}\ N}$$



La dirección y sentido se aprecia en la figura, en la dirección del eje x en su sentido negativo.

$$\overrightarrow{F_m} = \mathbf{3.12 \cdot 10^{-15}\,(-\vec{\imath})\ N}$$

Según vemos en la figura, para que la partícula no se desviara de su trayectoria, la fuerza eléctrica tendría que ser de igual módulo pero de sentido contrario a la fuerza magnética. Como la carga de la partícula es positiva, la dirección del campo electrostático tiene que ser el del eje y en su sentido positivo:



$$\overrightarrow{F_m} = \overrightarrow{F_e} \rightarrow q\,v\,B = q\,E \rightarrow E = v\,B = 1.22 \cdot 10^{5} \cdot 0.08 \rightarrow \boldsymbol{E = 9760\ {}^{N}/_{C}}$$

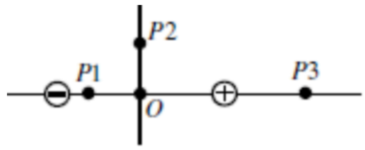
Cuestión 1.- ¿Cómo son en comparación la velocidad de escape desde la superficie de la Tierra para un camión, una pelota de ping-pong y una molécula de oxígeno? ¿Cuál de ellas es mayor?

La velocidad de escape se corresponde con la energía mínima que debe comunicarse a un cuerpo para que salga del campo gravitatorio, es decir:

$$E_M = 0 \rightarrow E_C + E_P = 0 \rightarrow \frac{1}{2}mv^2 + \left(-G\frac{M\,m}{R}\right) = 0 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2\,G\,M}{R}}$$

Donde G es la constante de gravitación universal, M la masa de la Tierra y R el radio terrestre. Es decir, la velocidad de escape es independiente de la masa del cuerpo, por tanto **será la misma** para el camión, la pelota y la molécula de oxígeno.

Cuestión 2.- 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.

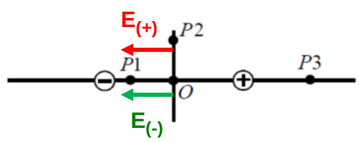


a) El campo eléctrico y el potencial en el origen de coordenadas O son ambos iguales a cero.
b) El potencial eléctrico en el punto P1 es negativo.
c) En el punto P2 el potencial eléctrico es igual a cero pero el campo eléctrico no.
d) En el punto P3 el potencial eléctrico puede ser positivo o negativo dependiendo del valor de las cargas.

Teniendo en cuenta que el potencial eléctrico y el campo eléctrico tienen las expresiones:

$$V = k\frac{q}{R} \qquad \vec{E} = k\frac{|q|}{R^2}\,\vec{u}_R$$

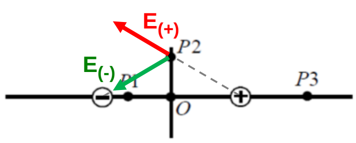
(a) **Falsa.-** el potencial sí es nulo debido a que al ser una magnitud escalar, el potencial debido a cada carga es el mismo (debido a la simetría de la distribución) pero de signo contrario, anulándose entre ellos. Sin embargo, el campo eléctrico no es nulo ya que al ser una magnitud vectorial, se calcula como la suma de los dos vectores de campo eléctrico debidos a cada carga. Y como puede verse en el dibujo, los dos vectores tienen el mismo sentido con lo que su suma vectorial no es nula.



(b) **Verdadera.-** como el punto P1 está más cerca a la carga negativa, el valor absoluto del potencial debido a dicha carga es mayor que el debido a la carga positiva (al estar más alejada) y por tanto, la suma de ambos potenciales es negativa.

(c) **Verdadera.-** el potencial es nulo por la misma razón que en el primer apartado. Y el campo eléctrico, como vemos en la figura, es el resultado de la suma vectorial de los dos vectores que es no nula.

(d) **Falsa.-** por el mismo razonamiento que en el apartado b, si el punto P3 está más próximo a la carga negativa, el valor absoluto de su potencial será mayor que el debido a la carga negativa, por lo que la suma de ambos potenciales será siempre positiva.



Cuestión 3.- ¿En qué consiste el efecto fotoeléctrico? ¿Qué es el trabajo de extracción? Explicar brevemente.

El efecto fotoeléctrico es la emisión de electrones por parte de un metal cuando es iluminado por radiación electromagnética de determinada longitud de onda. Esta radiación electromagnética produce dos fenómenos en el metal.

Por una parte arranca electrones de la superficie del metal, 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 (frecuencia mínima de la radiación electromagnética incidente por debajo de la cual no se produce emisión de fotones):

$$W_{ext} = h \cdot f_0$$

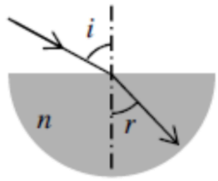
Por otro lado comunica energía cinética a los electrones liberados (siempre que la frecuencia de la radiación incidente sea mayor que la frecuencia umbral):

$$E_C = \frac{1}{2} m\, v^2$$

La ecuación de Einstein para explicar el efecto fotoeléctrico es:

$$E_{incidente} = W_{ext} + E_{cinética}$$

Cuestión 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 = $3 \cdot 10^8$ m/s.

i (º)	r (º)
12	7.5
28	17
44	26.5
58	33

La refracción sigue la Ley de Snell:

$$n_{aire}\, sen\, \hat{\imath} = n_{vidrio}\, sen\, \hat{r}$$

Para calcular el índice de refracción aplicamos la ley de Snell a los datos de la tabla:

$$n_{vidrio} = n_{aire} \frac{sen\, \hat{\imath}}{sen\, \hat{r}} \rightarrow \boldsymbol{n_{vidrio} = \frac{sen\, \hat{\imath}}{sen\, \hat{r}}}$$

iº	rº	$sen\, \hat{\imath}$	$sen\, \hat{r}$	n_{vidrio}
12	7.5	0.2079	0.1305	1.59
28	17	0.4695	0.2924	1.61
44	26.5	0.6947	0.4462	1.56
58	33	0.8480	0.5446	1.56

$$n_{vidrio} = \frac{1.59 + 1.61 + 1.56 + 1.56}{4} \rightarrow \boldsymbol{n_{vidrio} = 1.58}$$

Para calcular la velocidad de la luz dentro del vidrio usamos la expresión del índice de refracción:

$$n = \frac{c}{v} \rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{1.58} \rightarrow \boldsymbol{v_{vidrio} = 1.9 \cdot 10^8\ m/s}$$