

**Resolver 4 de las cuestiones planteadas, escogidas libremente.**

**Cada cuestión consta de dos apartados: a) 1 pto, b) 1,5 ptos. Tiempo: 1 h 30 min.**

**A) INTERACCIÓN GRAVITATORIA**

**A.1.** a) Una partícula se mueve en un campo gravitatorio constante y uniforme. Discuta la veracidad de las afirmaciones: i) Si la partícula se mueve en la dirección y sentido del campo su energía potencial aumenta, y si lo hace perpendicularmente no varía. ii) En ambos casos la energía cinética no cambia.

b) Un objeto de 3 kg de masa desciende, partiendo del reposo, desde una altura de 1,5 m por un plano inclinado de coeficiente de rozamiento 0,1 que forma un ángulo de 45° con la horizontal. Posteriormente continúa moviéndose por una superficie horizontal de coeficiente de rozamiento 0,2 hasta detenerse. i) Dibuje las fuerzas que actúan sobre el objeto cuando desciende por el plano inclinado y al moverse en la superficie horizontal, y calcule los módulos de las fuerzas de rozamiento. ii) Mediante consideraciones energéticas, calcule la distancia que recorre el objeto en la superficie horizontal hasta detenerse.  $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$

**A.2.** a) Razone la veracidad o falsedad de la siguiente afirmación: "Al acercarse dos masas aumenta la fuerza de atracción entre ellas, pero disminuye su energía potencial".

b) Dos masas puntuales  $m_1 = 8 \text{ kg}$  y  $m_2 = 12 \text{ kg}$  están situadas en los puntos A(0,0) m y B(2,0) m, respectivamente. i) Determine el punto entre las dos masas donde se anula el campo gravitatorio. ii) Calcule el trabajo que realiza la fuerza gravitatoria cuando una tercera masa  $m_3 = 2 \text{ kg}$  se desplaza desde el infinito hasta el punto C(2,2) m.  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

**B) INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA**

**B.1.** a) Razone si son ciertas las siguientes afirmaciones: i) En una región del espacio donde hay un campo electrostático uniforme el potencial electrostático es constante. ii) Si se deja una partícula con carga negativa en reposo en un campo electrostático se moverá hacia la dirección donde el potencial disminuye.

b) Una partícula con carga  $q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  se encuentra fija en el punto  $P_1 (-2,0) \text{ m}$  del plano XY. i) Calcule el trabajo que hay que hacer para traer otra partícula con carga  $q_2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  desde el infinito hasta el punto  $P_2 (2,0) \text{ m}$ , e interprete su signo. ii) Calcule el campo eléctrico en el punto  $P_3 (0,3)$  considerando las partículas cargadas anteriores en sus respectivos puntos.  $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$

**B.2.** a) Una espira cuadrada situada en el plano XY se acerca a un hilo recto muy largo situado sobre el eje OY por el que circula una corriente de intensidad constante en el sentido positivo de dicho eje. i) Razone, con ayuda de un esquema, si varía el flujo magnético en que atraviesa la espira. ii) Razone y represente en un esquema el sentido de la corriente inducida en la espira.

b) Una espira cuadrada de 5 cm de lado se encuentra en un plano perpendicular a un campo magnético variable con el tiempo de expresión  $B(t) = 6 \cdot t^2 + 1 \text{ (S.I.)}$ . i) Calcule, ayudándose de un esquema, la expresión del flujo magnético a través de la espira en función del tiempo. ii) Calcule el valor de la fuerza electromotriz inducida en la espira en el instante  $t = 10 \text{ s}$ .

**C) ONDAS. ÓPTICA GEOMÉTRICA**

**C.1.** a) i) ¿Qué información ofrece la ecuación de una onda armónica si fijamos una posición concreta? Realice una representación gráfica. ii) ¿Y si fijamos una posición y un tiempo concretos simultáneamente?

b) La siguiente ecuación corresponde a una onda armónica que se desplaza por un medio elástico:

$$y(x,t) = 0,1 \cdot \text{sen}[5\pi t - (5/2)\pi x + \pi/2] \text{ (S.I.)}$$

Determine: i) Su periodo, su longitud de onda y su velocidad de propagación. ii) La velocidad de oscilación del punto  $x = 2 \text{ m}$  en el instante  $t = 1 \text{ s}$ .

**C.2.** a) Considere la afirmación siguiente: "Una lente convergente siempre forma una imagen real a partir de un objeto". Razone, utilizando diagramas de rayos, si la afirmación es verdadera o falsa.

b) Se coloca un objeto luminoso delante de una lente divergente de distancia focal 5 cm. Se quiere que la imagen formada tenga 1/3 del tamaño del objeto y su misma orientación. i) Calcule la posición del objeto. ii) Obtenga la posición de la imagen. iii) Realice el trazado de rayos y explique el carácter real o virtual de la imagen. Justifique sus respuestas.

**D) FÍSICA DEL SIGLO XX**

**D.1.** a) Indique, razonando la respuesta, si la siguiente afirmación es verdadera o falsa: "En el efecto fotoeléctrico, los electrones emitidos por el metal tienen la misma energía que los fotones incidentes".

b) Al iluminar un electrodo de platino con dos haces de luz monocromáticas de longitudes de onda  $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  y  $1 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ , se observa que la energía cinética máxima de los electrones emitidos es de 3,52 eV y 7,66 eV, respectivamente. Determine razonadamente: i) La constante de Planck. ii) La frecuencia umbral del platino.

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

**D.2.** a) Discuta razonadamente la veracidad de la siguiente afirmación: "La radiación beta es sensible a campos magnéticos, mientras que la gamma no".

b) Considere los núcleos  ${}^3_1\text{H}$  y  ${}^3_2\text{He}$ . i) Explique cuáles son las partículas constituyentes de cada uno de ellos y razone qué emisión radiactiva permitiría pasar de uno a otro. ii) Obtenga la energía de enlace para cada uno de ellos y justifique razonadamente cuál de ellos es más estable.  $m({}^3_1\text{H}) = 3,016049 \text{ u}$ ;  $m({}^3_2\text{He}) = 3,016029 \text{ u}$ ;  $m_p = 1,007276 \text{ u}$ ;  $m_n = 1,008665 \text{ u}$ ;  $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ;  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

**A) INTERACCIÓN GRAVITATORIA**

**A.1. a) Una partícula se mueve en un campo gravitatorio constante y uniforme. Discuta la veracidad de las afirmaciones: i) Si la partícula se mueve en la dirección y sentido del campo su energía potencial aumenta, y si lo hace perpendicularmente no varía. ii) En ambos casos la energía cinética no cambia.**

**b) Un objeto de 3 kg de masa desciende, partiendo del reposo, desde una altura de 1,5 m por un plano inclinado de coeficiente de rozamiento 0,1 que forma un ángulo de 45° con la horizontal. Posteriormente continúa moviéndose por una superficie horizontal de coeficiente de rozamiento 0,2 hasta detenerse. i) Dibuje las fuerzas que actúan sobre el objeto cuando desciende por el plano inclinado y al moverse en la superficie horizontal, y calcule los módulos de las fuerzas de rozamiento. ii) Mediante consideraciones energéticas, calcule la distancia que recorre el objeto en la superficie horizontal hasta detenerse.  $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$**

**a) i) De la expresión  $\vec{g} = -\vec{\nabla}V$  ( $\vec{g} = -\overrightarrow{\text{grad}}V$ ), deducimos que el potencial gravitatorio disminuye en la dirección y sentido del campo gravitatorio. Es decir, la partícula se mueve en la dirección y sentido en que V disminuye. Por otra parte,  $E_p = m \cdot V$ , y como la masa es positiva, si el potencial gravitatorio disminuye, la energía potencial gravitatoria también disminuye. Esta parte de la afirmación es falsa.**

**(De otra manera: Si se mueve en sentido del campo, la fuerza gravitatoria  $\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}$  va a favor del desplazamiento, por lo que realiza un trabajo positivo. Al ser la fuerza gravitatoria conservativa, se cumple que  $\Delta E_{Pg} = -W_{Fg} < 0$ )**

Si es verdadera la segunda parte. Al moverse la partícula perpendicularmente al campo, V no varía (misma superficie equipotencial), y por lo tanto  $E_{Pg}$  tampoco, y el trabajo realizado por la fuerza gravitatoria es nulo, al ser la fuerza perpendicular el desplazamiento)

**ii) Esta pregunta se presta a ambigüedad, ya que no aclaran si existe alguna otra fuerza aplicada sobre la partícula. si hubiera otra fuerza igual y de sentido contrario a la gravitatoria en todo momento, sí sería cierta la afirmación, ya que se cumpliría la primera ley de Newton y la velocidad sería constante.**

Supondremos que no hay otras fuerzas aplicadas. La primera parte vuelve a ser falsa, ya que si se mueve en la dirección del campo, la fuerza gravitatoria realiza trabajo positivo, y por el teorema trabajo- energía cinética,  $W_{TOT} = \Delta E_c$ , y l energía cinética aumentaría.

Si se mantendría constante en un movimiento perpendicular al campo gravitatorio ( $W_{Fg} = 0 \rightarrow E_c = \text{cte}$ )

**b) a) Sobre el bloque actuarán, durante todo el movimiento, las siguientes fuerzas, dibujadas en el esquema:**

- Fuerza gravitatoria (peso):

$$F_g = m \cdot g = 3 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ N/kg} = 29,4 \text{ N}.$$

- Normal: Debida al contacto con la superficie.

Compensa las componentes perpendiculares al plano de las fuerzas aplicadas.

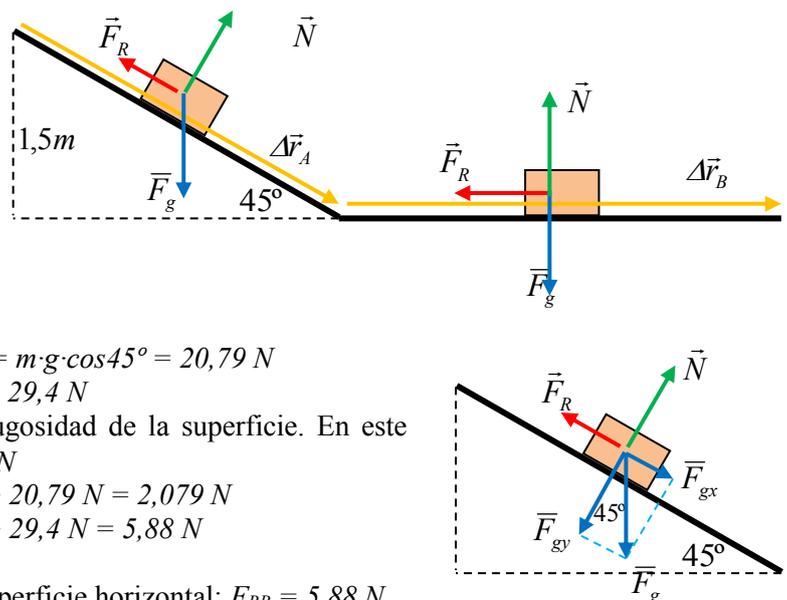
· En el plano inclinado (A)  $N_A = F_{gy} = m \cdot g \cdot \cos 45^\circ = 20,79 \text{ N}$

· En la superficie horizontal (B):  $N_B = F_g = 29,4 \text{ N}$

- Fuerza de rozamiento dinámica: Debida a la rugosidad de la superficie. En este ejercicio se opone al desplazamiento.  $F_R = \mu \cdot N$

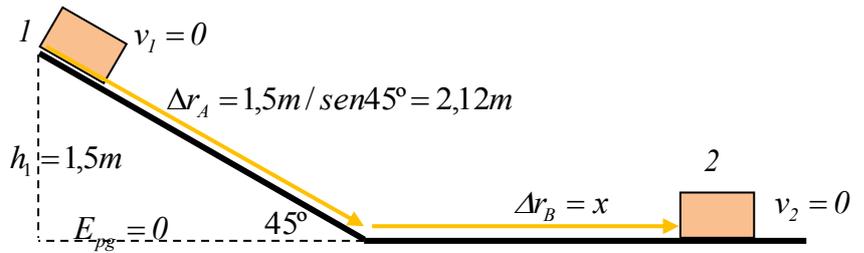
· En el plano inclinado:  $F_{RA} = 0,1 \cdot 20,79 \text{ N} = 2,079 \text{ N}$

· En la superficie horizontal:  $F_{RB} = 0,2 \cdot 29,4 \text{ N} = 5,88 \text{ N}$



**i) Solución: Plano inclinado:  $F_{RA} = 2,079 \text{ N}$  , Superficie horizontal:  $F_{RB} = 5,88 \text{ N}$**

ii) Para calcular la distancia que recorre por la superficie horizontal hasta detenerse, aplicamos el principio de conservación de la energía mecánica, teniendo en cuenta que actúa una fuerza no conservativa, el rozamiento, que realiza trabajo (la normal es no conservativa también, pero no realiza trabajo al ser perpendicular al desplazamiento). Por lo tanto, la energía mecánica cambiará y su variación será igual al trabajo realizado por las fuerzas no conservativas.



$$\Delta E_M = E_{M2} - E_{M1} = W_{FNC} = W_{FR} + W_N \quad \rightarrow \quad E_{M2} - E_{M1} = W_{FR}$$

$$E_M = E_c + E_{pg} \quad \text{consideramos el origen de } E_{pg} \text{ en la parte baja del plano } (h = 0 \text{ m})$$

La situación inicial será aquella en que el bloque está en reposo en la parte alta del plano inclinado ( $h = 0,4 \text{ m}$ ). La energía mecánica en esta situación 1 es:

$$E_{M1} = E_{c1} + E_{pg1} = 0 + m \cdot g \cdot h_1 = 44,1 \text{ J}$$

La situación final es aquella en la que el bloque ya se ha detenido, después de haber recorrido una distancia  $x$  por la superficie horizontal ( $h = 0 \text{ m}$ ). La energía mecánica será entonces

$$E_{M2} = E_{c2} + E_{pg2} = 0 + m \cdot g \cdot h_2 = 0 \text{ J}$$

El trabajo realizado por la fuerza de rozamiento: lo calculamos en dos partes:

$$\text{Plano inclinado (A): } W_{FRA} = F_{RA} \cdot \Delta r_A \cdot \cos \alpha = 2,079 \text{ N} \cdot 2,12 \text{ m} \cdot \cos 180^\circ = -4,407 \text{ J}$$

$$\text{Tramo horizontal (B): } W_{FRB} = F_{RB} \cdot \Delta r_B \cdot \cos \alpha = 5,88 \text{ N} \cdot x \cdot \cos 180^\circ = -5,88 \cdot x \text{ (J)}$$

En total:

$$E_{M2} - E_{M1} = W_{FR} \quad \rightarrow \quad 0 \text{ J} - 44,1 \text{ J} = -4,407 \text{ J} - 5,88 \cdot x \quad \rightarrow$$

$$\rightarrow \quad x = 6,75 \text{ m recorre por la superficie horizontal hasta detenerse}$$

**A.2. a) Razone la veracidad o falsedad de la siguiente afirmación: “Al acercar dos masas aumenta la fuerza de atracción entre ellas, pero disminuye su energía potencial”.**

**b) Dos masas puntuales  $m_1 = 8 \text{ kg}$  y  $m_2 = 12 \text{ kg}$  están situadas en los puntos A(0,0) m y B(2,0) m, respectivamente.**

**i) Determine el punto entre las dos masas donde se anula el campo gravitatorio. ii) Calcule el trabajo que realiza la fuerza gravitatoria cuando una tercera masa  $m_3 = 2 \text{ kg}$  se desplaza desde el infinito hasta el punto C(2,2) m.**

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$

**a)** La fuerza de atracción gravitatoria entre dos masas viene dada por la ley de Newton:  $\vec{F}_g = -\frac{GMm}{r^2} \vec{u}_r$

En módulo  $F_g = \frac{GMm}{r^2}$ . Vemos que al acercar las masas,  $r$  disminuye, por lo que el módulo de la fuerza gravitatoria aumenta.

La energía potencial gravitatoria del sistema formado por las dos masas, considerando el nivel cero en el infinito, viene dada por  $E_{pg} = -\frac{GMm}{r}$ . Al ser una cantidad negativa, al disminuir  $r$ ,  $E_{pg}$  también disminuye (se hace más negativa)

La afirmación es cierta.

**b)**

**i)** Estamos ante el campo gravitatorio generado por dos masas puntuales. El campo total en cualquier punto del espacio viene dado por el principio de superposición  $\vec{g} = \vec{g}_1 + \vec{g}_2$

Si se anula en un punto, es porque la suma vectorial de las intensidades producidas por cada masa se anula,

$$\vec{g} = \vec{g}_1 + \vec{g}_2 = 0 \rightarrow \vec{g}_1 = -\vec{g}_2$$

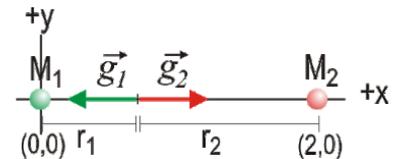
Esto ocurre cuando ambos campos tiene igual módulo ( $\frac{GM_1}{r_1^2} = \frac{GM_2}{r_2^2}$ ), igual dirección y sentidos opuestos. Como vemos en el esquema, este punto se encuentra en el segmento que une ambas partículas, y está más cerca de la masa menor.

$$\frac{GM_1}{r_1^2} = \frac{GM_2}{r_2^2} \rightarrow \frac{8 \text{ kg}}{r_1^2} = \frac{12 \text{ kg}}{r_2^2} \rightarrow r_2^2 = r_1^2 \cdot 1,5 \rightarrow r_2 = 1,225 \cdot r_1$$

La otra ecuación la obtenemos del esquema:

$$r_1 + r_2 = d = 2 \text{ m} \rightarrow r_1 + 1,225 \cdot r_1 = 2 \rightarrow r_1 = 0,899 \text{ m} \quad r_2 = 1,101 \text{ m}$$

El punto es el (0,899,0) m



**ii)** El trabajo realizado por la fuerza gravitatoria al trasladar una masa  $m_3 = 2 \text{ kg}$  desde el infinito hasta el punto (2,2)m lo calculamos teniendo en cuenta que la fuerza gravitatoria es conservativa.

$$\text{Así. } W_{Fg} = -\Delta E_{pg} = -(E_{pgC} - E_{pg\infty}) = E_{pg\infty} - E_{pgC} = -E_{pgC}$$

Ya que hemos colocado el origen de potencial en el infinito.

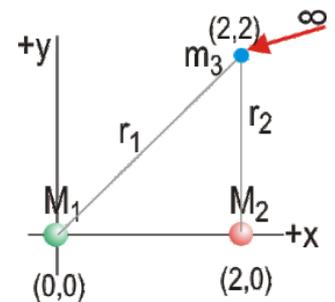
$$\text{Aplicando el principio de superposición: } E_{pgC} = E_{pg1} + E_{pg2} = -\frac{GM_1 m_3}{r_1} - \frac{GM_2 m_3}{r_2}$$

Sustituimos  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ ,  $M_1 = 8 \text{ kg}$ ,  $r_1 = \sqrt{2^2 + 2^2} = \sqrt{8} \text{ m}$ ,  $M_2 = 12 \text{ kg}$ ,  $r_2 = 2 \text{ m}$ ,  $m_3 = 2 \text{ kg}$

$$E_{pgC} = -1,178 \cdot 10^{-9} \text{ J}$$

De este modo, el trabajo realizado por la fuerza gravitatoria es  $W_{Fg} = -E_{pgC} = 1,178 \cdot 10^{-9} \text{ J}$

Trabajo positivo. La fuerza favorece el desplazamiento.



## B) INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

**B.1. a) Razone si son ciertas las siguientes afirmaciones: i) En una región del espacio donde hay un campo electrostático uniforme el potencial electrostático es constante. ii) Si se deja una partícula con carga negativa en reposo en un campo electrostático se moverá hacia la dirección donde el potencial disminuye.**

**b) Una partícula con carga  $q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  se encuentra fija en el punto  $P_1 (-2,0) \text{ m}$  del plano XY. i) Calcule el trabajo que hay que hacer para traer otra partícula con carga  $q_2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  desde el infinito hasta el punto  $P_2 (2,0) \text{ m}$ , e interprete su signo. ii) Calcule el campo eléctrico en el punto  $P_3 (0,3)$  considerando las partículas cargadas anteriores en sus respectivos puntos.**

$$K = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$$

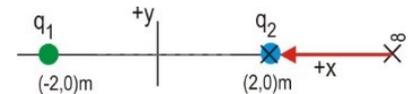
**a) i)** De la expresión  $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$  ( $\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}V$ ), deducimos que el potencial electrostático disminuye en la dirección y sentido del campo electrostático. Es decir, si hay campo, el potencial varía al movernos de un punto a otro. Si el potencial fuera constante en toda la región del espacio, el campo sería nulo (es lo que ocurre en el interior de un conductor en equilibrio). La afirmación es falsa.

**ii)** Sobre una partícula cargada en el interior de un campo eléctrico actúa una fuerza eléctrica dada por  $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$ . Al ser la carga negativa, la fuerza eléctrica va en igual dirección que el campo, pero en sentido opuesto. Por tanto, la partícula se moverá en sentido opuesto al campo.

Como ya hemos dicho en i), el sentido del campo es aquel en el que el potencial disminuye. Como consecuencia, vemos que la partícula se mueve en el sentido en el que el potencial aumenta. La afirmación es falsa.

**b) i)** Calcularemos el trabajo que realiza la fuerza eléctrica teniendo en cuenta que ésta es conservativa:

$$W_e = -\Delta E p_e = -(E p_{P_2} - E p_{\infty}) = E p_{\infty} - E p_{P_2} = 0 - -E p_{P_2} = -E p_{P_2}$$



Ya que consideramos que el origen de energía potencial gravitatoria está en el infinito.

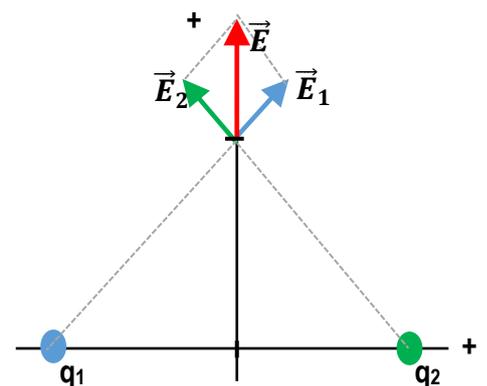
La energía potencial gravitatoria almacenada en cada punto debido a la interacción entre las dos cargas  $q_1$  y  $q_2$ , se

$$\text{calcula. } E p_e = \frac{K \cdot q_1 \cdot q_2}{r} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{4 \text{ m}} = 0,036 \text{ J}$$

Así, el trabajo realizado por la fuerza eléctrica es  $W_e = -E p_{P_2} = -0,036 \text{ J}$

Interpretación: Las dos cargas se repelen al ser positivas. Al acercarlas, la fuerza electrostática se opone al desplazamiento, por lo que realiza un trabajo negativo.

**ii)** Aplicando el principio de superposición, el campo eléctrico creado por varias cargas puntuales en un punto del espacio es igual a la suma de los campos eléctricos creados por cada carga en dicho punto.



$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$\vec{E}_1 = \frac{K q_1}{r_1^2} \vec{u}_{r1}$$

$$q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C} ; \quad \vec{r}_1 = (0,3) - (-2,0) = 2 \vec{i} + 3 \vec{j} \text{ m} ;$$

$$r_1 = \sqrt{13} \text{ m} ; \quad \vec{u}_{r1} = \frac{\vec{r}_1}{r_1} = \frac{2 \vec{i} + 3 \vec{j}}{\sqrt{13}}$$

$$\vec{E}_1 = \frac{K q_1}{r_1^2} \vec{u}_{r1} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(\sqrt{13} \text{ m})^2} \cdot \frac{2 \vec{i} + 3 \vec{j}}{\sqrt{13}} = 1536,09 \vec{i} + 2304,14 \vec{j} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$\vec{E}_2 = \frac{K q_2}{r_2^2} \vec{u}_{r2} \quad q_2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C} ; \vec{r}_2 = (0,3) - (2,0) = -2 \vec{i} + 3 \vec{j} \text{ m} ; r_2 = \sqrt{13} \text{ m} ; \vec{u}_{r2} = \frac{\vec{r}_2}{r_2} = \frac{-2 \vec{i} + 3 \vec{j}}{\sqrt{13}}$$

$$\vec{E}_2 = \frac{K q_2}{r_2^2} \vec{u}_{r2} = \frac{9 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(\sqrt{13} \text{ m})^2} \cdot \frac{-2 \vec{i} + 3 \vec{j}}{\sqrt{13}} = -1536,09 \vec{i} + 2304,14 \vec{j} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$\text{Así, } \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 4608,28 \vec{j} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

**B.2. a) Una espira cuadrada situada en el plano XY se acerca a un hilo recto muy largo situado sobre el eje OY por el que circula una corriente de intensidad constante en el sentido positivo de dicho eje. i) Razone, con ayuda de un esquema, si varía el flujo magnético en que atraviesa la espira. ii) Razone y represente en un esquema el sentido de la corriente inducida en la espira.**

**b) Una espira cuadrada de 5 cm de lado se encuentra en un plano perpendicular a un campo magnético variable con el tiempo de expresión  $B(t) = 6 \cdot t^2 + 1$  (S.I.). i) Calcule, ayudándose de un esquema, la expresión del flujo magnético a través de la espira en función del tiempo. ii) Calcule el valor de la fuerza electromotriz inducida en la espira en el instante  $t = 10$  s.**

a) El campo magnético que genera un hilo recto muy largo por el que circula corriente viene dado por la ley de Biot-Savart.

Módulo:  $B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r}$  Aumenta al acercarnos al hilo (esta es la clave de la cuestión)

Dirección: Perpendicular al cable y a la distancia r.

Su sentido se calcula aplicando la regla del sacacorchos (mano derecha) al girar la corriente sobre la distancia.

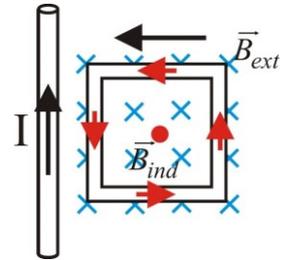
El flujo magnético que atraviesa la espira viene dado por  $\Phi_m = \int \vec{B} \cdot d\vec{S}$ . Variará si varía el valor del campo que atraviesa la espira, la superficie, o la orientación entre el campo y el vector superficie.

En este caso, al acercarnos al hilo, aumenta el valor del campo que atraviesa la espira, con lo que el flujo aumentará.

Según la ley de Faraday-Lenz, al variar el flujo que atraviesa la espira, se inducirá corriente en la misma. El sentido de la corriente es tal que crea un campo magnético inducido que se opone a la variación de flujo.

Como el flujo está aumentando, el campo inducido se opone al campo externo.

Según la ley de Biot-Savart, el sentido de la corriente viene dado aplicando la regla de la mano derecha (dibujo)



b) En este segundo apartado estamos ante un caso de inducción electromagnética, de generación de una corriente en un circuito por acción de un campo magnético. Aplicando la ley de Faraday-Lenz, se inducirá corriente eléctrica en un circuito si se produce una variación en el flujo magnético que atraviesa la superficie encerrada por el circuito. El sentido de la corriente inducida es tal que genera un campo magnético inducido que se opone a la variación de flujo magnético.

El flujo magnético se calcula  $\Phi_m = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = \vec{B} \cdot \vec{S} = B \cdot S \cdot \cos\alpha$

Suponiendo una superficie plana y un campo magnético uniforme

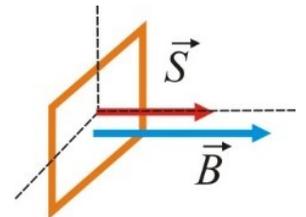
En este caso varía con el tiempo el módulo del campo magnético, por lo que se producirá corriente inducida.

$$B = 6 \cdot t^2 + 1 \text{ (T)}$$

$$S = L^2 = (0,05\text{m})^2 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$\alpha = 0^\circ$  Espira perpendicular al campo. Hemos elegido el vector superficie en el mismo sentido que el campo.

$$\Phi_m = B \cdot S \cdot \cos\alpha = (6 \cdot t^2 + 1) \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 0^\circ = 1,5 \cdot 10^{-2} \cdot t^2 + 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Tm}^2$$



La fuerza electromotriz inducida en la bobina  $\varepsilon = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -3 \cdot 10^{-2} \cdot t \text{ (V)}$

Para  $t = 10$  s,  $\varepsilon = -0,3 \text{ V}$

**C) ONDAS. ÓPTICA GEOMÉTRICA**

**C.1. a) i) ¿Qué información ofrece la ecuación de una onda armónica si fijamos una posición concreta? Realice una representación gráfica. ii) ¿Y si fijamos una posición y un tiempo concretos simultáneamente?**

**b) La siguiente ecuación corresponde a una onda armónica que se desplaza por un medio elástico:**

$$y(x,t) = 0,1 \cdot \text{sen}[5\pi t - (5/2)\pi x + \pi/2] \text{ (S.I.)}$$

**Determine: i) Su periodo, su longitud de onda y su velocidad de propagación. ii) La velocidad de oscilación del punto  $x = 2 \text{ m}$  en el instante  $t = 1 \text{ s}$ .**

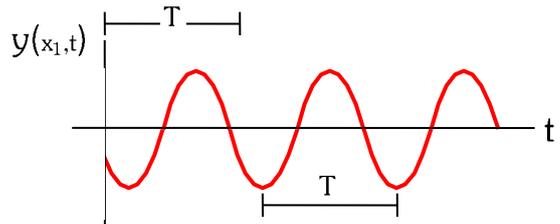
**a)** La ecuación de una onda armónica nos indica la elongación de cualquier punto del medio para cualquier instante de tiempo.  $y(x,t) = A \cdot \text{sen}(\omega t \pm kx + \varphi_0)$

Depende de dos variables:  $x$ , la posición respecto al foco, y  $t$ , el tiempo transcurrido desde el instante inicial.

**i)** Al fijar una posición concreta ( $x_1$ ), la ecuación de onda representa la oscilación de ese punto del medio en función del tiempo.

$$y(x_1, t) = A \cdot \text{sen}(\omega t \pm kx_1 + \varphi_0)$$

La cantidad  $\pm k \cdot x_1$  marca el desfase de la oscilación del punto  $x_1$  respecto a la oscilación del foco.



**ii)** Al fijar tanto la posición ( $x_1$ ), como el tiempo ( $t_1$ ), la ecuación da como resultado un valor concreto, que es la elongación de ese punto del medio en el instante marcado.  $y(x_1, t_1) = A \cdot \text{sen}(\omega t_1 \pm kx_1 + \varphi_0)$

**b)**  $y(x,t) = 0,1 \cdot \text{sen}[5\pi t - (5/2)\pi x + \pi/2] \text{ (S.I.)}$

**i)** La expresión general de una onda armónica es  $y(x,t) = A \cdot \text{sen}(\omega t \pm kx + \varphi_0)$ . Comparando, obtenemos:

Frecuencia angular:  $\omega = 5\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow$  Periodo de oscilación  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 0,4 \text{ s}$

Número de onda:  $k = \frac{5}{2}\pi \text{ rad} \cdot \text{m}^{-1} \rightarrow$  Longitud de onda  $\lambda = \frac{2\pi}{k} = 0,8 \text{ m}$  distancia más corta entre dos puntos en fase

Calculamos la velocidad de propagación de la energía por el medio:  $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{0,8 \text{ m}}{0,4 \text{ s}} = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

(También puede hacerse  $v = \frac{\omega}{k} = \frac{5\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}}{\frac{5}{2}\pi \text{ rad} \cdot \text{m}^{-1}} = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

**ii)** La velocidad de oscilación de un punto del medio se calcula

$$v_y = \frac{dy(x,t)}{dt} = \frac{d[0,1 \cdot \text{sen}(5\pi t - \frac{5}{2}\pi x + \frac{\pi}{2})]}{dt} = 0,5\pi \cdot \cos(5\pi t - \frac{5}{2}\pi x + \frac{\pi}{2}) \text{ (S.I.)}$$

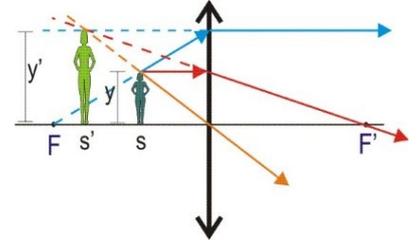
Sustituimos  $x = 2 \text{ m}$ ,  $t = 1 \text{ s}$

$$v_y = 0,5\pi \cdot \cos\left(5\pi - 5\pi x + \frac{\pi}{2}\right) = 0,5\pi \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**C.2. a) Considere la afirmación siguiente: “Una lente convergente siempre forma una imagen real a partir de un objeto”. Razone, utilizando diagramas de rayos, si la afirmación es verdadera o falsa.**

**b) Se coloca un objeto luminoso delante de una lente divergente de distancia focal 5 cm. Se quiere que la imagen formada tenga 1/3 del tamaño del objeto y su misma orientación. i) Calcule la posición del objeto. ii) Obtenga la posición de la imagen. iii) Realice el trazado de rayos y explique el carácter real o virtual de la imagen. Justifique sus respuestas.**

a) La afirmación es falsa. Una lente convergente puede formar una imagen virtual si el objeto está situado a menos distancia de la lente que la distancia focal (es decir, el objeto situado entre el foco objeto F y la lente), como podemos ver en el diagrama de rayos. La imagen es virtual, ya que los rayos no convergen al salir de la lente, sino que parecen divergir de un punto. Son sus prolongaciones “hacia atrás” las que se juntan en un punto.



Aplicando las reglas del trazado de rayos:

- Rayo que incide paralelo al eje óptico → converge hacia el foco imagen F' (rojo)
- Rayo que incide pasando (su prolongación) por el foco objeto F → sale paralelo al eje óptico (azul)
- Rayo que incide sobre el vértice (centro) de la lente → Sale formando el mismo ángulo con el eje óptico. (naranja)

b) Usaremos normas DIN a la hora de medir las distancias.

Todas las distancias a la derecha de la lente o hacia arriba del eje óptico son positivas. Son negativas aquellas distancias a la izquierda de la lente o hacia abajo del eje óptico.

y: tamaño del objeto:

s: posición del objeto

f': distancia focal (lente-F'). Es negativa en lentes divergentes.  $f' = -0,05 \text{ m}$

s': posición de la imagen

y': tamaño de la imagen.  $y' = y/3$ . Y' e y con el mismo signo (imagen derecha)

Ecuaciones de Gauss: Ecuación de la lente:  $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$       Aumento lateral:  $\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$

i) y ii) Aplicando estas ecuaciones obtenemos los valores de s y s' .

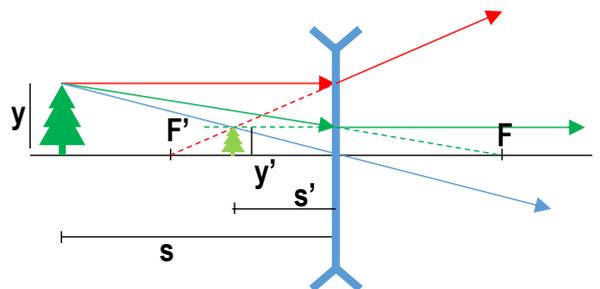
$$\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \rightarrow \frac{1}{3} = \frac{s'}{s} \rightarrow s = 3 \cdot s'$$

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \rightarrow \frac{1}{s'} - \frac{1}{3 \cdot s'} = \frac{1}{-0,05} \rightarrow \frac{2}{3 \cdot s'} = \frac{1}{-0,05} \rightarrow s' = -0,0333 \text{ m}$$

Así:  $s = 3 \cdot s' = -0,1 \text{ m}$

iii) La imagen es virtual, como vemos en el diagrama de rayos. Los rayos divergen al salir de la lente, y parecen provenir de un punto. Son sus prolongaciones “hacia atrás” las que se unen en un punto. Además, s' es negativa.

Reglas de trazado de rayos explicadas en a).



## D) FÍSICA DEL SIGLO XX

**D.1. a) Indique, razonando la respuesta, si la siguiente afirmación es verdadera o falsa: “En el efecto fotoeléctrico, los electrones emitidos por el metal tienen la misma energía que los fotones incidentes”.**

**b) Al iluminar un electrodo de platino con dos haces de luz monocromáticas de longitudes de onda  $1,5 \cdot 10^{-7}$  m y  $1 \cdot 10^{-7}$  m, se observa que la energía cinética máxima de los electrones emitidos es de 3,52 eV y 7,66 eV, respectivamente. Determine razonadamente: i) La constante de Planck. ii) La frecuencia umbral del platino.**  
 $c = 3 \cdot 10^8$  m s<sup>-1</sup>;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C

**a)** En el efecto fotoeléctrico, según explicó Einstein, al incidir los fotones de radiación sobre la superficie del metal, transfieren íntegramente su energía a los electrones. Si esta energía es mayor que el trabajo de extracción del metal, se extraerán electrones con una energía cinética máxima  $Ec_e = E_{fot} - W_{extr}$

La afirmación es falsa, ya que una parte de la energía del fotón se invierte en extraer al electrón del metal (trabajo de extracción). La energía de los electrones será menor que la de los fotones incidentes.

**b)** Como se ha explicado en el apartado a, la energía de los fotones incidentes ( $E_f = hf = \frac{hc}{\lambda}$ ) se invierte en vencer la atracción del núcleo y dar energía cinética a los electrones emitidos,  $E_f = W_{extr} + Ec_e$

El trabajo de extracción del metal depende sólo del metal, no de la radiación incidente.

La frecuencia umbral de emisión se calcula a partir del trabajo de extracción  $W_{extr} = h \cdot f_0 \rightarrow f_0 = \frac{W_{extr}}{h}$

Pasamos las energías cinéticas a julios ( $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ )

$$Ec_1 = 3,52 \text{ eV} = 5,632 \cdot 10^{-19} \text{ J}, \quad Ec_2 = 7,66 \text{ eV} = 1,226 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

Planteamos el balance energético para cada experiencia:

$$E_{f1} = W_{extr} + Ec_{e1} \quad \rightarrow \quad \frac{hc}{\lambda_1} = W_{extr} + Ec_{e1} \quad \rightarrow (1) \quad \frac{h \cdot 3 \cdot 10^8}{1,5 \cdot 10^{-7}} = W_{extr} + 5,632 \cdot 10^{-19}$$

$$E_{f2} = W_{extr} + Ec_{e2} \quad \rightarrow \quad \frac{hc}{\lambda_2} = W_{extr} + Ec_{e2} \quad \rightarrow (2) \quad \frac{h \cdot 3 \cdot 10^8}{10^{-7}} = W_{extr} + 1,226 \cdot 10^{-18}$$

Resolvemos el sistema: Restamos (2) menos (1) y despejamos h. Luego sustituimos en una de las dos para calcular  $W_{extr}$ .

Obtenemos: **i)**  $h = 6,628 \cdot 10^{-34} \text{ J s}^{-1}$

$$\text{ii) } W_{extr} = 7,624 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad \rightarrow \quad f_0 = \frac{W_{extr}}{h} = \frac{7,624 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,628 \cdot 10^{-34} \text{ J s}^{-1}} = 1,150 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$$

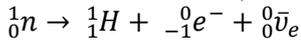
(También puede plantearse el balance energético como  $\frac{hc}{\lambda} = h \cdot f_0 + Ec_e$ , y obtenemos directamente  $f_0$ )

**D.2. a) Discuta razonadamente la veracidad de la siguiente afirmación: “La radiación beta es sensible a campos magnéticos, mientras que la gamma no”.**

**b) Considere los núcleos  ${}^3_1H$  y  ${}^3_2He$ . i) Explique cuáles son las partículas constituyentes de cada uno de ellos y razone qué emisión radiactiva permitiría pasar de uno a otro. ii) Obtenga la energía de enlace para cada uno de ellos y justifique razonadamente cuál de ellos es más estable.**

$$m({}^3_1H) = 3,016049 \text{ u}; m({}^3_2He) = 3,016029 \text{ u}; m_p = 1,007276 \text{ u}; m_n = 1,008665 \text{ u}; 1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}; c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

**a)** La radiación beta está constituida por electrones, que tienen carga negativa. Se origina por la desintegración de un neutrón del núcleo (interacción nuclear débil) en un protón, un electrón y un antineutrino.



Un campo magnético actúa sobre cargas eléctricas en movimiento (ley de Lorentz:  $\vec{F}_m = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ ). Sobre el electrón, que tiene carga y está en movimiento, actúa fuerza magnética, que desviará su movimiento. Sí es sensible a campos magnéticos.

La radiación gamma está constituida por radiación, fotones de alta energía. Es originada por la liberación de energía de núcleos inestables.  ${}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZY + {}^0_0\gamma$

Al no tener carga eléctrica, la radiación gamma no se ve afectada por los campos magnéticos.

La afirmación es cierta.

**b)**

**i)** El número de partículas que componen un determinado nucleido viene indicado por los números:

$$Z \text{ (N}^\circ \text{ atómico)} = \text{N}^\circ \text{ de protones}$$

$$A \text{ (N}^\circ \text{ másico)} = \text{Número de nucleones} = n^\circ \text{ protones} + n^\circ \text{ neutrones} = Z + N \quad {}^A_ZX$$

$${}^3_1H: \text{ Tiene } Z = 1, A = 3, N = A - Z = 2 \quad \text{Este isótopo del H (tritio) posee 1 protón y dos neutrones.}$$

$${}^3_2He: \text{ Tiene } Z = 2, A = 3, N = A - Z = 1 \quad \text{Este isótopo del helio posee 2 protones y 1 neutrón.}$$

Mediante la emisión radiactiva, un núcleo inestable desprende una o varias partículas, transformándose en otro nucleido más estable.

En este caso, al transformarse  ${}^3_1H$  en  ${}^3_2He$ , vemos que  $Z$  aumenta en una unidad, mientras que  $A$  permanece constante. Esto es posible mediante la emisión de radiación beta, que consiste en la desintegración de un neutrón por acción de la fuerza nuclear débil, produciendo un protón, un electrón y un neutrino. La reacción queda  ${}^3_1H \rightarrow {}^3_2He + {}^0_{-1}e^- + {}^0_0\bar{\nu}_e$

**ii) b)** Se entiende por energía de enlace nuclear ( $E_e$ ) la energía desprendida al formarse el núcleo a partir de sus partículas por separado. Esta energía se debe a la pérdida de masa que sufren los nucleones al unirse, y se calcula con la expresión de Einstein  $E_e = \Delta m \cdot c^2$ , donde  $\Delta m$  es el defecto másico  $\Delta m = \sum m_{\text{partículas}} - m_{\text{Núcleo}}$ , y  $c$  la velocidad de la luz en el vacío.

Así, aplicando estas expresiones a cada nucleido

$${}^3_1H: \Delta m = m({}^1_1p) + 2m({}^1_0n) - m({}^3_1H) = 0,008557 \text{ u.} = 1,420 \cdot 10^{-29} \text{ kg} \rightarrow E_e = 1,278 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

$${}^3_2He: \Delta m = 2m({}^1_1p) + m({}^1_0n) - m({}^3_2He) = 0,007188 \text{ u.} = 1,193 \cdot 10^{-29} \text{ kg} \rightarrow E_e = 1,074 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

La estabilidad de un núcleo nos lo indica la energía de enlace por nucleón,  $E_n = \frac{E_e}{A}$ , la energía promedio desprendida

por cada partícula. Así:

$${}^3_1H: E_n = \frac{E_e}{A} = \frac{1,278 \cdot 10^{-12} \text{ J}}{3} = 4,26 \cdot 10^{-13} \text{ J}; \quad {}^3_2He: E_n = \frac{E_e}{A} = \frac{1,074 \cdot 10^{-12} \text{ J}}{3} = 3,58 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Vemos que el  ${}^3_1H$  es más estable que el  ${}^3_2He$ , al desprender una mayor energía de enlace por nucleón.