

## UNIVERSIDADES DE ANDALUCÍA: PRUEBA DE SELECTIVIDAD. FÍSICA. JUNIO 2006

### OPCIÓN A

- Sean dos conductores rectilíneos paralelos por los que circulan corrientes eléctricas de igual intensidad y sentido..
  - Explique qué fuerzas ejercen entre sí ambos conductores.
  - Represente gráficamente la situación en la que las fuerzas son repulsivas, dibujando el campo magnético y la fuerza sobre cada conductor.
- Explique los fenómenos de reflexión y refracción de la luz con ayuda de un esquema.
  - Un haz de luz pasa del aire al agua. Razone cómo cambian su frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación.
- Un bloque de 2 kg está situado en el extremo de un muelle, de constante elástica  $500 \text{ N m}^{-1}$ , comprimido 20 cm. Al liberar el muelle el bloque se desplaza por un plano horizontal y, tras recorrer una distancia de 1 m, asciende por un plano inclinado  $30^\circ$  con la horizontal. Calcule la distancia recorrida por el bloque sobre el plano inclinado.
  - Supuesto nulo el rozamiento
  - Si el coeficiente de rozamiento entre el cuerpo y los planos es 0,1.  
 $g = 10 \text{ m s}^{-2}$
- El período de semidesintegración del  $^{226}\text{Ra}$  es de 1620 años.
  - Explique qué es la actividad y determine su valor para 1 g de  $^{226}\text{Ra}$ .
  - Calcule el tiempo necesario para que la actividad de una muestra de  $^{226}\text{Ra}$  quede reducida a un dieciseisavo de su valor original.  
 $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

### OPCIÓN B

- Razone si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:
  - Según la ley de la gravitación la fuerza que ejerce la Tierra sobre un cuerpo es directamente proporcional a la masa de éste. Sin embargo, dos cuerpos de diferente masa que se sueltan desde la misma altura llegan al suelo simultáneamente.
  - El trabajo realizado por una fuerza conservativa en el desplazamiento de una partícula entre dos puntos es menor si la trayectoria seguida es el segmento que une dichos puntos.
- Demuestre que en un oscilador armónico simple la aceleración es proporcional al desplazamiento pero de sentido contrario.
  - Una partícula realiza un movimiento armónico simple sobre el eje OX y en el instante inicial pasa por la posición de equilibrio. Escriba la ecuación del movimiento y razone cuándo es máxima la aceleración.
- Una partícula con carga  $2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  se encuentra en reposo en el punto (0,0). Se aplica un campo eléctrico uniforme de  $500 \text{ N C}^{-1}$  en el sentido positivo del eje OY.
  - Describa el movimiento seguido por la partícula y la transformación de energía que tiene lugar a lo largo del mismo.
  - Calcule la diferencia de potencial entre los puntos (0,0) y (0,2) m y el trabajo realizado para desplazar la partícula entre dichos puntos.
- Al iluminar la superficie de un metal con luz de longitud de onda 280 nm, la emisión de fotoelectrones cesa para un potencial de frenado de 1,3 V.
  - Determine la función trabajo del metal y la frecuencia umbral de emisión fotoeléctrica.
  - Cuando la superficie del metal se ha oxidado, el potencial de frenado para la misma luz incidente es de 0,7 V. Razone cómo cambian, debido a la oxidación del metal: i) la energía cinética máxima de los fotoelectrones; ii) la frecuencia umbral de emisión; iii) la función trabajo.  
( $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$  ;  $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$  ;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ )

**SOLUCIÓN AL EXAMEN.**

**OPCIÓN A:**

1. Sean dos conductores rectilíneos paralelos por los que circulan corrientes eléctricas de igual intensidad y sentido..

a) Explique qué fuerzas ejercen entre sí ambos conductores.

b) Represente gráficamente la situación en la que las fuerzas son repulsivas, dibujando el campo magnético y la fuerza sobre cada conductor.

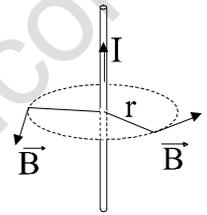
a) Un conductor rectilíneo por el que circula corriente eléctrica crea a su alrededor un campo magnético debido al movimiento de las cargas eléctricas. Dicho campo  $\vec{B}$  tiene como características:

Su módulo viene dado por  $B = \frac{\mu \cdot I}{2\pi \cdot r}$

Dirección: Perpendicular al movimiento de las cargas eléctricas (corriente)

Perpendicular al vector  $\vec{r}$  (distancia desde la corriente al punto considerado)

Sentido: Dado por la regla del sacacorchos al girar el sentido de la corriente sobre el vector  $\vec{r}$ .



Los dos conductores situados paralelamente y con las corrientes en idéntico sentido ejercen entre sí fuerzas magnéticas de atracción dadas por la ley de Laplace.

La corriente  $I_1$  crea un campo  $B_{12}$  en la zona donde está el conductor 2

La corriente  $I_2$  crea un campo  $B_{21}$  en la zona donde está el conductor 1.

La fuerza que ejerce el conductor 1 sobre el 2  $\vec{F}_{12} = I_2 \cdot \vec{L}_2 \wedge \vec{B}_{12}$

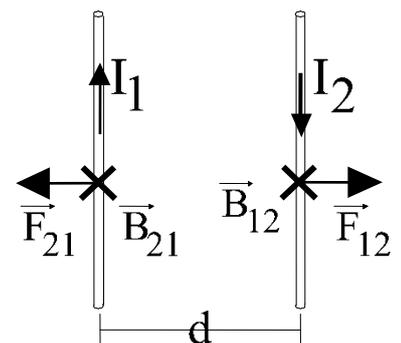
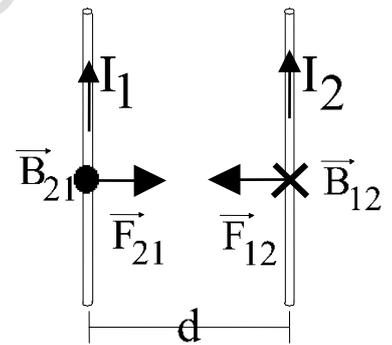
La fuerza que ejerce el conductor 2 sobre el 1  $\vec{F}_{21} = I_1 \cdot \vec{L}_1 \wedge \vec{B}_{21}$

Las direcciones y sentidos vienen dadas por la regla de la mano derecha.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad F_{12} = I_2 \cdot L_2 \cdot B_{12} = I_2 \cdot L \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot d} = L \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot d} = F_{21}$$

Calculando fuerza por unidad de longitud  $f_{12} = \frac{F_{12}}{L} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot d} = f_{21}$

b) Las fuerzas serán repulsivas en el caso de que las corrientes circulen en sentidos contrarios, como indica el dibujo. Se explica análogamente a lo hecho en el apartado anterior. El módulo de las fuerzas es el mismo en ambos casos.



2. a) Explique los fenómenos de reflexión y refracción de la luz con ayuda de un esquema.

b) Un haz de luz pasa del aire al agua. Razone cómo cambian su frecuencia, longitud de onda y velocidad de propagación.

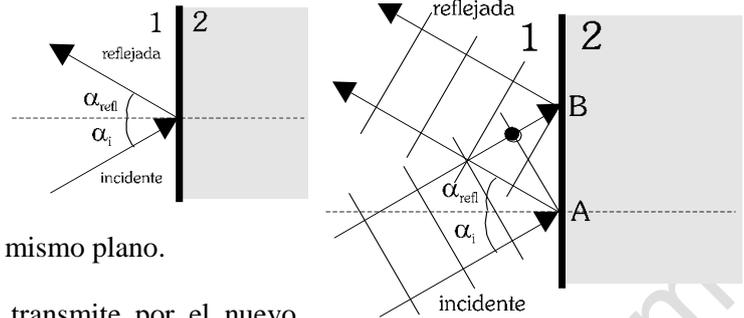
a) La luz visible es un tipo particular de onda electromagnética. Como toda onda, puede sufrir Reflexión y refracción son dos fenómenos ondulatorios que ocurren cuando una onda (luz, en este caso) que se propaga por un medio incide sobre la frontera con otro medio distinto.

**Reflexión:** Al llegar la onda incidente a la frontera con el medio 2, los puntos de la frontera generan una nueva onda que se propaga por el medio 1.

La onda reflejada tiene igual  $v$ ,  $\lambda$ , y velocidad de propagación que la onda incidente.

El ángulo que forma la dirección con la normal a la frontera es igual al de la onda incidente.

El rayo incidente, el reflejado y la normal están en el mismo plano.



**Refracción:** Se forma una onda luminosa que se transmite por el nuevo medio. Los puntos de la frontera se contagian de la vibración de la onda incidente y dan lugar a lo que se denomina onda refractada.

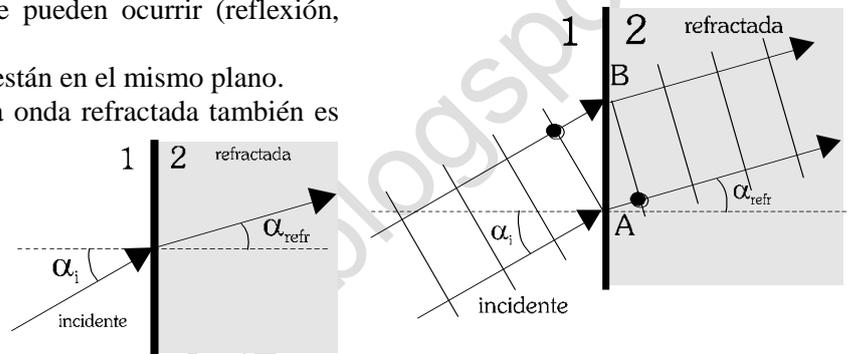
La frecuencia de la onda sigue siendo la misma (dependía sólo del foco emisor), pero como ahora el medio es diferente, la velocidad de propagación también lo será y, por tanto también variarán  $\lambda$ ,  $k$ .

La amplitud de la onda refractada será menor que la de la onda incidente, ya que la energía de la onda incidente debe repartirse entre los tres procesos que pueden ocurrir (reflexión, refracción, absorción).

El rayo incidente, el refractado y la normal están en el mismo plano.

La dirección en la que se propaga la nueva onda refractada también es diferente. Existe una relación entre los ángulos que forman los rayos incidente y refractado con la normal a la superficie. Esta relación se conoce como *ley de Snell*.

$$n_1 \cdot \text{sen} \alpha_i = n_2 \cdot \text{sen} \alpha_{\text{refr}}$$



Donde  $n$  es el índice de refracción de cada medio, que indica el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y en el medio. Siempre  $n \geq 1$

$$n = \frac{c}{v}$$

b) Al pasar la luz de un medio a otro, se produce el fenómeno de refracción.

- La frecuencia  $\nu$  (que nos indica el "color" de la luz) depende únicamente del foco emisor de ondas, y no del medio por el que se propaga la onda, por lo que se mantiene constante al pasar de un medio a otro.

- La velocidad de propagación  $v$ , en un medio ideal, depende exclusivamente del medio por el que se propague la onda. Esta magnitud cambia (en este caso disminuye) al pasar del aire al agua.

- La longitud de onda  $\lambda$  depende tanto del foco emisor de la onda como del medio por el que ésta se propague.

$\lambda = \frac{v}{\nu}$  Por lo tanto, al variar  $v$ , también cambia la longitud de onda. En este caso, la longitud de onda disminuye, ya que  $v$  disminuye.

3. Un bloque de 2 kg está situado en el extremo de un muelle, de constante elástica  $500 \text{ N m}^{-1}$ , comprimido 20 cm. Al liberar el muelle el bloque se desplaza por un plano horizontal y, tras recorrer una distancia de 1 m, asciende por un plano inclinado  $30^\circ$  con la horizontal. Calcule la distancia recorrida por el bloque sobre el plano inclinado.

a) Supuesto nulo el rozamiento

b) Si el coeficiente de rozamiento entre el cuerpo y los planos es 0,1.

$g = 10 \text{ m s}^{-2}$

Resolvemos este problema aplicando conceptos energéticos. Concretamente, el principio de conservación de la energía mecánica: Si sobre un cuerpo no actúan fuerzas no conservativas, o éstas no realizan trabajo, la energía mecánica del cuerpo se mantendrá constante

$$\Delta E_M = W_{F_{NC}} \rightarrow \text{si } W_{F_{NC}} = 0 \rightarrow \Delta E_M = 0 \rightarrow E_M = \text{cte.}$$

La energía mecánica es la suma de las energías cinética (debido al movimiento) y potencial (debida a la acción de las fuerzas conservativas que actúan sobre el sistema, en este caso las fuerzas gravitatoria y elástica).

$$E_M = E_c + E_p = E_c + E_{pg} + E_{pel}$$

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_{pg} = mgh \quad (\text{origen en } h = 0 \text{ m, sistema de referencia})$$

$$E_c = \frac{1}{2}K\Delta x^2 \quad (\text{origen en la posición de equilibrio del muelle})$$

Variaciones de energía:

$E_c = \frac{1}{2}m \cdot v^2$ : Inicialmente es cero. Aumenta

al descomprimirse el muelle, se mantiene constante durante el tramo horizontal y va disminuyendo durante la subida por la pendiente hasta hacerse cero.

$E_{pg} = m \cdot g \cdot h$  (origen:  $E_{pg}=0$  en el tramo horizontal  $h=0$ ) se mantendrá constante (e igual a 0) durante el tramo horizontal, y aumentará hasta su valor máximo durante la subida por la pendiente.

$E_{pel} = \frac{1}{2}K(\Delta x)^2$  (origen:  $E_{pel}=0$  en la posición de equilibrio del muelle) Inicialmente el muelle almacena energía elástica. Ésta va disminuyendo conforme el muelle se descomprime.

$$E_M = E_c + E_{pg} + E_{pel}$$

Se mantiene constante en el apartado a), ya que no existen fuerzas no conservativas que realicen trabajo. En el apartado b), el trabajo de la fuerza de rozamiento (fuerza disipativa) en los planos hace que no se conserve la energía mecánica. Se cumplirá que  $W_{FNC} = \Delta E_M \rightarrow W_{FR} = E_{M2} - E_{M1}$

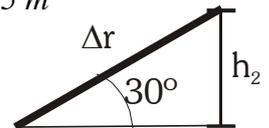
a) Aplicamos la conservación de la energía mecánica entre las situaciones inicial y final.

Situación inicial:  $E_{M1} = E_{c1} + E_{pel1} + E_{pg1} = \frac{1}{2}K \cdot \Delta x_1^2$

Situación final:  $E_{M2} = E_{c2} + E_{pel2} + E_{pg2} = mgh_2$

Igualando ambas energías mecánicas:  $\frac{1}{2}K \cdot \Delta x_1^2 = mgh_2 \rightarrow h_2 = \frac{K \cdot \Delta x_1^2}{2mg} = 0,5 \text{ m}$

La distancia recorrida:  $\text{sen}30^\circ = \frac{h_2}{\Delta r} \rightarrow \Delta r = \frac{h_2}{\text{sen}30^\circ} = 1 \text{ m}$



b) Ahora la energía mecánica no se conserva, ya que existe una fuerza no conservativa (el rozamiento) que realiza trabajo durante el tramo horizontal y la pendiente. Debemos calcular ambos por separado.

Situación inicial:  $E_{M1} = E_{c1} + E_{pel1} + E_{pg1} = \frac{1}{2}K \cdot \Delta x_1^2$

Situación final:  $E_{M2} = E_{c2} + E_{pel2} + E_{pg2} = mgh_2$

Calculamos el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento:

1º) Durante el desplazamiento horizontal ( $\Delta r = 1 \text{ m}$ ).

$$F_{R1} = \mu \cdot N = \mu \cdot mg = 2 \text{ N}$$

$$W_{FR1} = F_{R1} \cdot \Delta r \cdot \cos 180^\circ = -2 \text{ J}$$

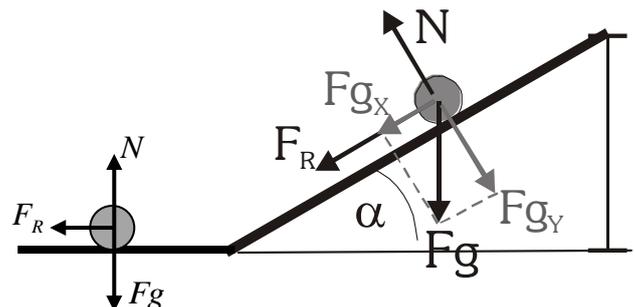
2º) Durante la subida por la pendiente:

$$F_{R2} = \mu \cdot N = \mu \cdot mg \cdot \cos 30^\circ = 1,732 \text{ N}$$

$$W_{FR2} = F_{R2} \cdot \Delta r \cdot \cos 180^\circ = -1,732 \cdot \Delta r$$

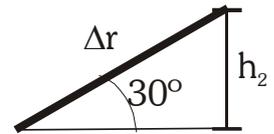
Y el trabajo total de rozamiento:

$$W_{FR} = W_{FR1} + W_{FR2} = -2 - 1,732 \cdot \Delta r \quad (\text{J})$$



La altura  $h_2$  que alcanza está relacionada con la distancia  $\Delta r$  recorrida por la pendiente.

$$\text{sen}30^\circ = \frac{h_2}{\Delta r} \rightarrow h_2 = \Delta r \cdot \text{sen}30^\circ = \frac{\Delta r}{2}$$



Aplicamos el principio de conservación de la energía mecánica (en este caso, no se conserva):

$$W_{FR} = E_{M2} - E_{M1} \rightarrow mgh_2 - \frac{1}{2}K \cdot \Delta x_1^2 = W_{FR} \rightarrow 10 \cdot \Delta r - 10 = -2 - 1,732 \cdot \Delta r \rightarrow \Delta r = 0,68 \text{ m}$$

#### 4. El período de semidesintegración del $^{226}\text{Ra}$ es de 1620 años.

a) Explique qué es la actividad y determine su valor para 1 g de  $^{226}\text{Ra}$ .

b) Calcule el tiempo necesario para que la actividad de una muestra de  $^{226}\text{Ra}$  quede reducida a un dieciseisavo de su valor original.

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Nos encontramos ante una cuestión de radiactividad, emisión de partículas por parte de núcleos inestables, que se transforman en otros núcleos distintos.

a) Por actividad de una muestra radiactiva entendemos el número de desintegraciones que tienen lugar en la unidad de tiempo. Mide el ritmo de desintegración de la sustancia. En el S.I. se mide en Becquerel (Bq). 1 Bq = 1 desintegración por segundo.

La actividad depende del tipo de sustancia y de la cantidad (el nº de átomos) que tengamos en un instante

determinado. Se calcula con la expresión:  $\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N$

Calculamos  $\lambda$ , la constante radiactiva del radio, a partir del periodo de semidesintegración

$$T_{1/2} = 1620 \text{ años} = 5,1 \cdot 10^{10} \text{ s.}$$

$$\lambda \text{ y } T_{1/2} \text{ están relacionados a través de la vida media } \tau. \quad \tau = \frac{1}{\lambda} \quad T_{1/2} = \tau \cdot \ln 2$$

$$\text{Por tanto } \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = 1,36 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$$

Calculamos ahora N, el nº de átomos de Ra contenidos en 1 g

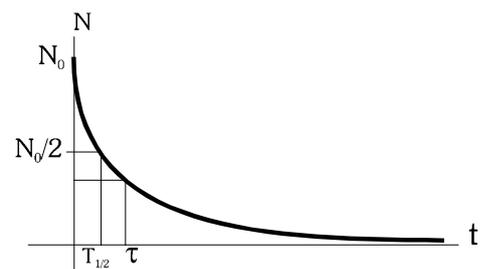
La masa atómica del  $^{226}\text{Ra}$  es de 226 u aproximadamente, con lo que 1 mol de  $^{226}\text{Ra}$  tiene 226 g de masa. Así:

$$1 \text{ g } ^{226}\text{Ra} \cdot \frac{1 \text{ mol } ^{226}\text{Ra}}{226 \text{ g } ^{226}\text{Ra}} \cdot \frac{6,02 \cdot 10^{23} \text{ átomos } ^{226}\text{Ra}}{1 \text{ mol } ^{226}\text{Ra}} = 2,66 \cdot 10^{21} \text{ átomos } ^{226}\text{Ra}$$

$$\text{Sustituyendo en la expresión de la actividad } \frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N = -3,62 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Es decir, la cantidad de  $^{226}\text{Ra}$  presente en la muestra se reduce actualmente a un ritmo de  $3,62 \cdot 10^{10}$  desintegraciones por segundo.

b) El periodo de semidesintegración,  $T_{1/2}$ , indica el tiempo que tarda una cierta cantidad de sustancia radiactiva en reducirse a la mitad, es decir, el tiempo que transcurre hasta la desintegración de la mitad de núcleos que teníamos inicialmente. De este modo, al cabo de un periodo de semidesintegración, quedará la mitad de la muestra original, al cabo de dos veces el  $T_{1/2}$ , quedará la cuarta parte, al cabo de tres  $T_{1/2}$ , la octava parte, y quedará un dieciseisavo de la cantidad original transcurrido un tiempo igual a cuatro veces el periodo de semidesintegración.



Por lo tanto, el tiempo necesario que nos piden es de  $4 \cdot 1620 \text{ años} = \underline{6480 \text{ años}} = 2,04 \cdot 10^{11} \text{ s}$

## OPCIÓN B

### 1. Razone si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:

- a) Según la ley de la gravitación la fuerza que ejerce la Tierra sobre un cuerpo es directamente proporcional a la masa de éste. Sin embargo, dos cuerpos de diferente masa que se sueltan desde la misma altura llegan al suelo simultáneamente.
- b) El trabajo realizado por una fuerza conservativa en el desplazamiento de una partícula entre dos puntos es menor si la trayectoria seguida es el segmento que une dichos puntos.

- a) Esta afirmación es correcta, siempre y cuando despreciemos el efecto del rozamiento con el aire. Según la ley de Gravitación universal de Newton, la fuerza gravitatoria que ejercen dos cuerpos entre sí es proporcional a la masa de los mismos. Se calcula con la expresión  $\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}$ , donde m es la masa del cuerpo y g el campo gravitatorio creado por la Tierra.

Ahora bien, el tiempo que tarda en caer un cuerpo en caída libre, depende de la aceleración que sufre, y ésta se

calcula a partir de la segunda ley de la dinámica de Newton.  $\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a} \rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}_g}{m} = \frac{m \cdot \vec{g}}{m} = \vec{g}$

Independientemente de la masa, todos los cuerpos sufren la misma aceleración. Así, dejándolos caer en caída libre desde la misma altura, tardarán el mismo tiempo en caer.

- b) Una fuerza conservativa se caracteriza porque el trabajo que realiza durante un desplazamiento entre dos puntos, es independiente de la trayectoria seguida, su valor sólo depende de los puntos inicial y final. Así, vemos que la afirmación es falsa, ya que el trabajo realizado por la fuerza entre los dos puntos siempre tendrá el mismo valor.

### 2. a) Demuestre que en un oscilador armónico simple la aceleración es proporcional al desplazamiento pero de sentido contrario.

- b) Una partícula realiza un movimiento armónico simple sobre el eje OX y en el instante inicial pasa por la posición de equilibrio. Escriba la ecuación del movimiento y razone cuándo es máxima la aceleración.

- a) Un movimiento armónico simple (m.a.s.) es un movimiento oscilatorio periódico, cuya elongación (desplazamiento) respecto a la posición de equilibrio ( y ) viene dada por una función sinusoidal  $y = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t + \varphi_0)$ , donde A es la amplitud del movimiento,  $\omega$  la frecuencia angular y  $\varphi_0$  la fase inicial del movimiento.

La velocidad la obtenemos derivando la posición respecto al tiempo.  $v_y = \frac{dy}{dt} = A \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$

Y la aceleración, derivando la velocidad respecto al tiempo  $a_y = \frac{dv_y}{dt} = -A \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}(\omega \cdot t + \varphi_0)$

Comparando las expresiones de posición y aceleración, comprobamos que se cumple que  $a_y = -\omega^2 \cdot y$ , es decir, la aceleración es proporcional al desplazamiento, y va en sentido contrario.

- b) Como hemos visto en el apartado anterior, la expresión general de un m.a.s. viene dada por  $y = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t + \varphi_0)$ , donde “y” representa el desplazamiento desde la posición de equilibrio, independientemente de la coordenada espacial en que se produzca el m.a.s.

La fase inicial  $\varphi_0$  depende del estado inicial del movimiento. La cuestión nos dice que para  $t = 0$  s, pasa por la posición de equilibrio, es decir,  $y = 0$ . Sustituyendo en la ecuación

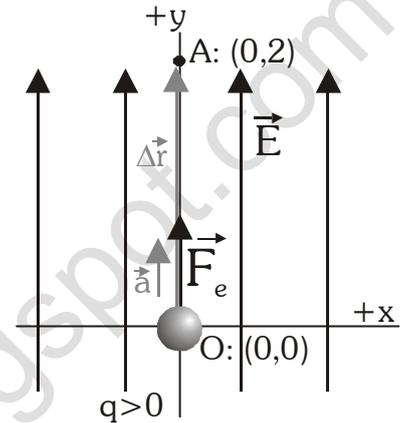
$$0 = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot 0 + \varphi_0) \rightarrow A \cdot \text{sen}\varphi_0 = 0 \rightarrow \text{sen}\varphi_0 = 0 \rightarrow \varphi_0 = 0$$

La expresión del movimiento será  $y = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t)$  Aplicando la relación demostrada en el apartado anterior, la aceleración es proporcional al desplazamiento. Así, la aceleración será máxima cuando el desplazamiento sea máximo, es decir, cuando la elongación sea igual a la amplitud (en valor absoluto). ( $y = \pm A$ ).

3. Una partícula con carga  $2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  se encuentra en reposo en el punto  $(0,0)$ . Se aplica un campo eléctrico uniforme de  $500 \text{ N C}^{-1}$  en el sentido positivo del eje OY.

- Describa el movimiento seguido por la partícula y la transformación de energía que tiene lugar a lo largo del mismo.
- Calcule la diferencia de potencial entre los puntos  $(0,0)$  y  $(0,2) \text{ m}$  y el trabajo realizado para desplazar la partícula entre dichos puntos.

a) El campo electrostático  $\vec{E}$  indica la fuerza por unidad de carga que se ejerce sobre una partícula cargada situada en el interior del campo. La fuerza que se ejerce sobre la partícula, ya esté en reposo o en movimiento, viene dada por  $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$ . Al tratarse de un campo eléctrico constante y uniforme, la fuerza ejercida también será constante y, por tanto, por la 2ª Ley de Newton, también la aceleración  $a = \frac{\vec{F}_e}{m} = \frac{q \cdot \vec{E}}{m} = cte$ . La partícula describirá un movimiento uniformemente acelerado. Además, como parte del reposo, el vector velocidad irá en todo momento en la misma dirección y sentido que la aceleración. Será, por consiguiente, un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA).



Su ecuación de movimiento será:  $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2} \vec{a} \cdot t^2 = \frac{1}{2} \vec{a} \cdot t^2$

La trayectoria será paralela al vector aceleración, y al vector campo, y el sentido del movimiento coincide con el de  $\vec{E}$ , al ser la carga positiva.

#### Estudio energético:

Al ser la fuerza electrostática una fuerza conservativa, la partícula  $q$  almacena energía potencial electrostática ( $E_{pe}$ ) al actuar sobre ella la fuerza electrostática.

Inicialmente, la partícula está en reposo, por lo que su energía cinética ( $E_c = \frac{1}{2} mv^2$ ) es nula.

Al comenzar el movimiento, debido a la aceleración, se produce una transformación de energía potencial en energía cinética (aumenta  $E_c$  a costa de la disminución de  $E_{pe}$ , se cumple  $\Delta E_c = -\Delta E_{pe}$ ). La energía mecánica ( $E_M = E_c + E_{pe}$ ) permanece constante en todo momento, ya que la única fuerza que actúa es conservativa.

b) El potencial electrostático ( $V$ ) indica la energía que almacena por unidad de carga una partícula colocada en el interior del campo electrostático. Su valor depende del punto que hayamos tomado como origen, por tanto, lo que realmente tiene utilidad física es la diferencia de potencial entre dos puntos ( $\Delta V$ ).

Para un campo eléctrico constante como el del problema, la diferencia de potencial está relacionada con el campo mediante la expresión  $\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{r}$ , donde  $\Delta \vec{r}$  es el vector desplazamiento. Así:

$$\Delta \vec{r} = (0,2) - (0,0) = (0,2) \text{ m} = 2 \vec{j} \text{ m} \quad ; \quad \vec{E} = 500 \vec{j} \text{ NC}^{-1}$$

$$\Delta V = V_A - V_O = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{r} = -1000 \text{ V}$$

La diferencia de potencial es de 1000 V, estando el punto origen O a mayor potencial que el punto A:  $(0,2)$ . Se cumple que el sentido del campo es aquel en el que el potencial disminuye.

Como  $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E} = cte$ , El trabajo realizado puede calcularse con la expresión

$$W_e = \vec{F}_e \cdot \Delta \vec{r} = q \cdot \vec{E} \cdot \Delta \vec{r} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 500 \vec{j} \text{ NC}^{-1} \cdot 2 \vec{j} \text{ m} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

(También podemos usar el hecho de que la fuerza es conservativa, así:

$$W_e = -\Delta E_{pe} = -q \cdot \Delta V = -2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot (-1000 \text{ V}) = 2 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

4. Al iluminar la superficie de un metal con luz de longitud de onda 280 nm, la emisión de fotoelectrones cesa para un potencial de frenado de 1,3 V.

a) Determine la función trabajo del metal y la frecuencia umbral de emisión fotoeléctrica.

b) Cuando la superficie del metal se ha oxidado, el potencial de frenado para la misma luz incidente es de 0,7 V. Razone cómo cambian, debido a la oxidación del metal: i) la energía cinética máxima de los fotoelectrones; ii) la frecuencia umbral de emisión; iii) la función trabajo.

$$(c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}; h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J s}; e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})$$

a) Nos encontramos ante un problema de efecto fotoeléctrico (emisión de electrones por parte de un metal al incidir sobre él radiación electromagnética). Este fenómeno, que las teorías clásicas no podían explicar suponiendo un carácter ondulatorio para la luz, fue explicado por Einstein en 1905 suponiendo que en la interacción entre radiación y materia la luz adopta carácter de partícula, es decir, la energía de la luz incidente se transmite de forma discreta, concentrada en partículas o "cuantos" de luz, los fotones. La energía de un fotón depende de su frecuencia y viene dada por la expresión  $E_f = h \cdot \nu$ , donde  $h$  es la constante de Planck ( $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ ).

Al incidir sobre los electrones externos del metal, el fotón cede su energía íntegramente al electrón. Para poder extraerlo del metal, esta energía debe ser superior a la necesaria para vencer la atracción del núcleo (trabajo de extracción o función trabajo)  $W_{extr} = h \cdot \nu_0$ , donde  $\nu_0$  es la frecuencia umbral característica del metal.

La energía sobrante se invierte en aportar energía cinética a los electrones.

$$\text{El balance energético queda } E_f = W_{extr} + Ec_e$$

La energía cinética de los fotoelectrones puede calcularse a partir del potencial de frenado  $V_{fr}$  (diferencia de potencial necesaria para frenar los electrones emitidos, reduciendo a cero su energía cinética)

$$V_{fr} = \frac{Ec_e}{e} \rightarrow Ec_e = e \cdot V_{fr} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1,3 \text{ V} = 2,08 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{La energía del fotón: } E_f = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{280 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 7,07 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Por lo tanto la función trabajo (trabajo de extracción) del metal se calcula

$$W_{extr} = E_f - Ec_e = 7,07 \cdot 10^{-19} \text{ J} - 2,08 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,99 \cdot 10^{-19} \text{ J} \text{ (aprox. } 2 \text{ eV)}$$

$$\text{Y la frecuencia umbral del metal } W_{extr} = h \cdot \nu_0 \rightarrow \nu_0 = \frac{W_{extr}}{h} = \frac{4,99 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = 7,56 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

b) Usando el balance energético  $E_f = W_{extr} + Ec_e$

i) La energía cinética máxima de los fotoelectrones disminuye, ya que está relacionada directamente con el potencial de frenado, y este disminuye.  $Ec_e = e \cdot V_{fr} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,7 \text{ V} = 1,12 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

iii) La energía de los fotones no cambia, ya que la luz incidente es la misma. Por tanto, si disminuye la  $Ec_e$  de los electrones arrancados (ya que disminuye el potencial de frenado) es porque la función trabajo del metal ha aumentado. Es necesaria una mayor energía para vencer la atracción por parte del núcleo.

$$W_{extr} = E_f - Ec_e = 7,07 \cdot 10^{-19} \text{ J} - 1,12 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 6,05 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

ii) La frecuencia umbral de fotoemisión aumenta. Son necesarios fotones más energéticos para arrancar los electrones. A partir del trabajo de extracción

$$W_{extr} = h \cdot \nu_0 \rightarrow \nu_0 = \frac{W_{extr}}{h} = \frac{6,05 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = 9,17 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

**Explicación química:** La oxidación del metal (pérdida de electrones) debido a la luz incidente origina que los átomos de la superficie del metal se ionicen (se convierten en cationes, de carga positiva). Esto explica el hecho de que se necesite más energía para continuar arrancando electrones al metal ya oxidado.