FÍSICA MODERNA

◊ INTRODUCCIÓN

● RECOMENDACIONES

1. **Se hará una lista con los datos, pasándolos al Sistema Internacional si no lo estuviesen.**

2. **Se hará otra lista con las incógnitas.**

3. **En algunos casos se dibujará un croquis de la situación, procurando que las distancias del croquis sean coherentes con ella.**

4. **Se hará una lista de las ecuaciones que contengan las incógnitas y alguno de los datos, mencionando a la ley o principio al que se refieren.**

5. **En caso de tener alguna referencia, al terminar los cálculos se hará un análisis del resultado para ver si es el esperado.**

6. **En muchos problemas las cifras significativas de los datos son incoherentes. Se resolverá el problema suponiendo que los datos que aparecen con una o dos cifras significativas tienen la misma precisión que el resto de los datos (por lo general tres cifras significativas), y al final se hará un comentario sobre el las cifras significativas del resultado.**

● ACLARACIONES

1. **Los datos de los enunciados de los problemas no suelen tener un número adecuado de cifras significativas, bien porque el redactor piensa que la Física es una rama de las Matemáticas y los números enteros son números «exactos» (p.ej la velocidad de la luz: 3×10^{8} m/s cree que es 300 000 000,000000000000000... m/s) o porque aún no se ha enterado de que se puede usar calculadora en el examen y le parece más sencillo usar 3×10^{8} que 299 792 458 m/s).**
Por eso he supuesto que los datos tienen un número de cifras significativas razonables, casi siempre tres cifras significativas. Menos cifras darían resultados, en ciertos casos, con amplio margen de error. Así que cuando tomo un dato como $c = 3\times10^{8}$ m/s y lo reescribo como:
***Cifras significativas*: 3**
$c = 3{,}00\times10^{8}$ m/s
lo que quiero indicar es que supongo que el dato original tiene tres cifras significativas (no que las tenga en realidad) para poder realizar los cálculos con un margen de error más pequeño que el que tendría si lo tomara tal como lo dan. (3×10^{8} m/s tiene una sola cifra significativa, y un error relativo del 30 %. Como los errores se suelen acumular a lo largo del cálculo, el error final sería inadmisible. Entonces, ¿para qué realizar los cálculos? Con una estimación sería suficiente).

◊ PROBLEMAS

● MECÁNICA CUÁNTICA.

1. En una célula fotoeléctrica, el cátodo metálico se ilumina con una radiación de λ = 175 nm, el potencial de frenado para los electrones es de 1 voltio. Cuando se usa luz de 200 nm, el potencial de frenado es de 1,86 V. Calcula:
a) El trabajo de extracción del metal y la constante de Planck *h*.
b) ¿Se produciría efecto fotoeléctrico si se iluminase con luz de 250 nm?
Datos: *e* = 1,6×10^{-19} C; *c* = 3×10^{8} m/s; 1 m = 10^{9} nm ***(P.A.U. Jun. 02)***
Rta.: a) ¿h = –6,4×10^{-34} J·s?, ¿W_e = –1,3×10^{-18} J?; b) ¿Sí?

Datos	***Cifras significativas: 3***
Longitud de onda de la primera radiación	λ_1 = 175 nm = 1,75×10^{-7} m
Potencial de frenado en la experiencia con la primera radiación	V_1 = 1,00 V
Longitud de onda de la segunda radiación	λ_2 = 200 nm = 2,00×10^{-7} m
Potencial de frenado en la experiencia con la segunda radiación	V_2 = 1,86 V
Carga del electrón	e = 1,60×10^{-19} C
Velocidad de la luz en el vacío	c = 3,00×10^{8} m/s
Incógnitas	
Trabajo de extracción del metal	W_e
Constante de Planck	h
Energía de un fotón de λ = 250 nm	E_f
Otros símbolos	
Energía cinética máxima de los electrones emitidos	E_c
Frecuencia de los fotones	f_1, f_2
Ecuaciones	
De Einstein del efecto fotoeléctrico	$E_f = W_e + E_c$
De Planck (energía de un fotón)	$E_f = h \cdot f$
Relación entre la energía cinética de los electrones y el potencial de frenado	$E_c = e \cdot V$
Relación entre la frecuencia y la longitud de onda de una onda	$f = c / \lambda$

Solución:

a) La ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico queda

$$\frac{h \cdot c}{\lambda} = W_e + e \cdot V$$

Sustituyendo los dos pares de datos:

$$\frac{h \cdot 3{,}00 \times 10^{8}\ [\mathrm{m \cdot s^{-1}}]}{2{,}00 \times 10^{-7}\ [\mathrm{m}]} = W_e + 1{,}60 \times 10^{-19}\ [\mathrm{C}] \cdot 1{,}86\ [\mathrm{V}]$$

$$\frac{h \cdot 3{,}00 \times 10^{8}\ [\mathrm{m \cdot s^{-1}}]}{1{,}75 \times 10^{-7}\ [\mathrm{m}]} = W_e + 1{,}60 \times 10^{-19}\ [\mathrm{C}] \cdot 1{,}00\ [\mathrm{V}]$$

queda un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, que tiene como resultado:

$$h = -6{,}4 \times 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$$

$$W_e = -1{,}3 \times 10^{-18}\ \mathrm{J}$$

Análisis: Estos resultados son absurdos. Ni la constante de Planck ni el trabajo de extracción pueden ser negativos. El error está en el enunciado del problema. La radiación de 175 nm *tiene más frecuencia que la de* 200 nm*, y, por lo tanto, más energía, por lo que los electrones saldrán con mayor energía cinética, y el potencial de frenado deberá ser mayor, lo que no está de acuerdo con los datos. Con el enunciado correcto el potencial de frenado de* 1 V *corresponde a la longitud de onda de* 200 nm *y las respuestas serían: h =* 6,4×10^{-34} J·s *y* W_e = 8,0×10^{-19} J

b) Una luz producirá efecto fotoeléctrico si su energía es superior al trabajo de extracción.
La energía de la luz incidente es:

$$E_f = h \cdot f = h \cdot c / \lambda = (-6,4\times10^{-34} \text{ [J s]} \cdot 3\times10^8 \text{ [m s}^{-1}]) / 250\times10^{-9} \text{ m} = -7,7\times10^{-19} \text{ J}$$

que es mayor que el trabajo de extracción $-1,3\times10^{-18}$ J, por lo que produciría efecto fotoeléctrico.
Análisis: Esto también es absurdo. Con el enunciado correcto $E_f = 7,7\times10^{-19}$ J < $8,0\times10^{-19}$ J *y* ***no*** *produciría efecto fotoeléctrico.*

2. El trabajo de extracción de los electrones en un metal es de 5×10^-19^ J. Una luz de longitud de onda 375 nm, incide sobre el metal. Calcula:
a) La frecuencia umbral.
b) La energía cinética de los electrones extraídos.
Datos: constante de Planck *h* = 6,62×10^-34^ J·s, *c* = 3×10^8^ m/s, 1 nm =10^-9^ m ***(P.A.U. Set. 02)***
Rta.: a) $f_0 = 8\times10^{14}$ Hz, b) $E_c = 3,0\times10^{-20}$ J

Datos	***Cifras significativas: 3***
Longitud de onda de la radiación	$\lambda = 375 \text{ nm} = 3,75\times10^{-7}$ m
Trabajo de extracción del metal	$W_e = 5,00\times10^{-19}$ J
Constante de Planck	$h = 6,62\times10^{-34}$ J·s
Velocidad de la luz en el vacío	$c = 3,00\times10^8$ m/s
Incógnitas	
Energía cinética máxima de los electrones emitidos	E_c
Frecuencia umbral	f_0
Otros símbolos	
Energía cinética máxima de los electrones emitidos	E_c
Ecuaciones	
De Planck (energía de un fotón)	$E_f = h \cdot f$
De Einstein del efecto fotoeléctrico	$E_f = W_e + E_c$
Relación entre la frecuencia y la longitud de onda de una onda	$f = c / \lambda$

Solución:

a) La radiación que tenga la frecuencia umbral, tendrá la energía estrictamente necesaria para arrancar el electrón, pero no sobrará nada para comunicarle energía cinética.

$$h \cdot f_0 = W_e + 0$$

Despejando la frecuencia umbral.

$$f_0 = \frac{W_e}{h} = \frac{5,00\times10^{-19}\text{ [J]}}{6,62\times10^{-34}\text{ [J·s]}} = 7,55\times10^{14}\text{ s}^{-1}$$

Análisis: Si calculamos la longitud de onda umbral, usando $\lambda_0 = c / f_0 \approx 400$ nm *que es del orden de magnitud del otro dato* (375 nm) *y se encuentra en la región violeta – u.v. del espectro electromagnético. Parece un resultado aceptable.*
b)

$$E_c = E_f - W_e = h f - W_e = \frac{h c}{\lambda} - W_e = \frac{6,62\times10^{-34}\text{ [J·s]}\cdot 3,00\times10^8\text{ [m·s}^{-1}]}{3,75\times10^{-7}\text{ [m]}} - 5,00\times10^{-19}\text{ [J]} = 3,0\times10^{-20}\text{ J}$$

(Si no se hiciese la suposición de que los datos tienen tres cifras significativas, la energía de los electrones no podría calcularse, ya que el resultado de la energía del fotón da 5×10^{-19} J *con una cifra significativa, que es el mismo valor que el trabajo de extracción)*

3. Si el trabajo de extracción para cierto metal es 5,6×10^-19^ J, calcula:
a) La frecuencia umbral por debajo de la cual no hay efecto fotoeléctrico en ese metal.
b) El potencial de frenado que se debe aplicar para que los electrones emitidos no lleguen al ánodo si la luz incidente es de 320 nm.
Datos: *c* = 3×10^8^ m/s; *h* = 6,63×10^-34^ J·s; 1 nm = 10^-9^ m; q_e =1,6×10^-19^ C ***(P.A.U. Set. 03)***

Rta.: a) $f_0 = 8,5×10^{14}$ Hz; b) $V = 0,4$ V

Datos	***Cifras significativas: 3***
Longitud de onda de la radiación	$\lambda = 320$ nm $= 3,20×10^{-7}$ m
Trabajo de extracción del metal	$W_e = 5,60×10^{-19}$ J
Constante de Planck	$h = 6,62×10^{-34}$ J·s
Velocidad de la luz en el vacío	$c = 3,00×10^8$ m/s
Carga del electrón	$e = 1,60×10^{-19}$ C
Incógnitas	
Frecuencia umbral	f_0
Potencial de frenado	V
Ecuaciones	
De Planck (energía de un fotón)	$E_f = h \cdot f$
De Einstein del efecto fotoeléctrico	$E_f = W_e + E_c$
Relación entre la frecuencia y la longitud de onda de una onda	$f = c / \lambda$
Relación entre la energía cinética de los electrones y el potencial de frenado	$E_c = e \cdot V$

Solución:

a) La radiación que tenga la frecuencia umbral, tendrá la energía estrictamente necesaria para arrancar el electrón, pero no sobrará nada para comunicarle energía cinética.

$$h \cdot f_0 = W_e + 0$$

Despejando la frecuencia umbral.

$$f_0 = \frac{W_e}{h} = \frac{5,60\times10^{-19}\,[\mathrm{J}]}{6,62\times10^{-34}\,[\mathrm{J\cdot s}]} = 8,46\times10^{14}\ \mathrm{s^{-1}}$$

Análisis: Si calculamos la longitud de onda umbral, usando $\lambda_0 = c / f_0 \approx$ 350 nm que es del orden de magnitud del otro dato (320 nm) *y se encuentra en la región ultravioleta del espectro electromagnético. Parece un resultado aceptable.*

b) De la ecuación de Einstein,

$$E_c = E_f - W_e = h\,f - W_e = \frac{h\,c}{\lambda} - W_e = \frac{6,62\times10^{-34}\,[\mathrm{J\cdot s}]\cdot 3,00\times10^{8}\,[\mathrm{m\cdot s^{-1}}]}{3,20\times10^{-7}\,[\mathrm{m}]} - 5,60\times10^{-19}\,[\mathrm{J}] = 6,1\times10^{-20}\ \mathrm{J}$$

$$V = \frac{E_c}{e} = \frac{6,1\times10^{-20}\,[\mathrm{J}]}{1,6\times10^{-19}\,[\mathrm{C}]} = 0,38\ \mathrm{V}$$

(Se no se hiciese la suposición de que los datos tienen tres cifras significativas, la energía de los electrones no podría calcularse, ya que el resultado de la energía del fotón de la $6×10^{-19}$ J *con una cifra significativa, que es el mismo valor que el trabajo de extracción redondeada a una sola cifra significativa)*

4. El trabajo de extracción del cátodo metálico en una célula fotoeléctrica es 3,32 eV. Sobre él incide radiación de longitud de onda λ = 325 nm. Calcula:
a) La velocidad máxima con la que son emitidos los electrones.
b) El potencial de frenado.
Datos: constante de Planck $h = 6,63×10^{-34}$ J·s, $c = 3×10^8$ m/s, 1 nm $=10^{-9}$ m, 1 eV $= 1,60×10^{-19}$ J, 1 $e = -1,60×10^{-19}$ C ***(P.A.U. Jun. 05)***

Rta.: a) $v = 4,2×10^5$ m/s, b) $V = 0,5$ V

Datos	***Cifras significativas: 3***
Longitud de onda de la radiación	$\lambda = 325$ nm $= 3,25×10^{-7}$ m
Trabajo de extracción del metal	$W_e = 3,32$ eV $= 5,31×10^{-19}$ J
Constante de Planck	$h = 6,63×10^{-34}$ J·s
Velocidad de la luz en el vacío	$c = 3,00×10^8$ m/s
Incógnitas	
Velocidad máxima con la que son emitidos los electrones	v

Incógnitas

Potencial de frenado V

Otros símbolos

Energía cinética máxima de los electrones emitidos E_c

Ecuaciones

De Planck (energía del fotón) $E_f = h \cdot f$

De Einstein del efecto fotoeléctrico $E_f = W_e + E_c$

Relación entre la frecuencia y la longitud de onda de una onda $f = c / \lambda$

Energía cinética $E_c = ½\, m\, v^2$

Relación entre potencial de frenado y energía cinética $E_c = e\, V$

Solución:

a) Por la ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico

$$E_f = W_e + E_c$$

la energía cinética máxima de los electrones emitidos será

$$E_c = E_f - W_e = h \cdot f - W_e = \frac{h \cdot c}{\lambda} - W_e = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}\ [\text{J·s}] \cdot 3{,}00 \times 10^{8}\ [\text{m·s}^{-1}]}{3{,}25 \times 10^{-7}\ [\text{m}]} - 5{,}31 \times 10^{-19}\ [\text{J}] = 8{,}03 \times 10^{-20}\ \text{J}$$

De la expresión de la energía cinética

$$v = \sqrt{\frac{2 E_c}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8{,}03 \times 10^{-20}\ [\text{J}]}{9{,}10 \times 10^{-31}\ [\text{kg}]}} = 4{,}20 \times 10^{5}\ \text{m/s}$$

(Si no se hiciese la suposición de que los datos tienen tres cifras significativas, la velocidad de los electrones no podría calcularse, ya que el resultado de la energía del fotón de la 6×10^{-19} J *con solo una cifra significativa, por lo que al restarle el trabajo de extracción* 5×10^{-19} J *daría para la energía cinética máxima de los electrones* 1×10^{-19} J *con un error del* 100 %*)*

b) El potencial de frenado que anularía la energía cinética máxima de los electrones sería:

$$V = \frac{E_c}{e} = \frac{8{,}03 \times 10^{-20}\ [\text{J}]}{1{,}60 \times 10^{-19}\ [\text{C}]} = 0{,}5\ \text{V}$$

5. La longitud de onda máxima capaz de producir efecto fotoeléctrico en un metal, es 4 500 Å:
a) Calcula el trabajo de extracción.
b) Calcula el potencial de frenado si la luz incidente es de λ = 4 000 Å.
c) ¿Habría efecto fotoeléctrico con luz de 5×10^{14} Hz?
Datos: $q_e = -1{,}6 \times 10^{-19}$ C; $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s ; 1 Å = 10^{-10} m; $c = 3 \times 10^{8}$ m·s^{-1} ***(P.A.U. Jun. 10)***
Rta.: a) $W_0 = 4{,}4 \times 10^{-19}$ J ; b) $V = 0{,}34$ V

Datos ***Cifras significativas: 3***

Longitud de onda umbral $\lambda_0 = 4\,500$ Å $= 4{,}50 \times 10^{-7}$ m

Longitud de onda $\lambda = 4\,000$ Å $= 4{,}00 \times 10^{-7}$ m

Frecuencia de la radiación $f = 5 \times 10^{14}$ Hz

Constante de Planck $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s

Velocidad de la luz en el vacío $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m/s

Carga del electrón $q_e = -1{,}60 \times 10^{-19}$ C

Incógnitas

Trabajo de extracción W_e

Potencial de frenado V

Otros símbolos

Energía cinética máxima de los electrones emitidos E_c

Ecuaciones

De Planck (energía del fotón) $E_f = h \cdot f$

De Einstein del efecto fotoeléctrico $E_f = W_e + E_c$

Relación entre la frecuencia y la longitud de onda de una onda $f = c / \lambda$

Ecuaciones

Relación entre potencial de frenado y energía cinética	$E_c = q_e \cdot V$

Solución:

a) La radiación que tenga la frecuencia umbral, tendrá la energía justa para arrancar el electrón, pero no sobrará nada para comunicarle energía cinética.

$$h \cdot f_0 = W_e + 0$$

El trabajo de extracción valdrá:

$$W_e = h \cdot f_0 = \frac{h \cdot c}{\lambda_0} = \frac{6{,}63\times10^{-34}\,[\text{J}\cdot\text{s}]\cdot 3{,}00\times10^{8}\ \text{J}}{4{,}50\times10^{-7}\ \text{m}} = 4{,}42\times10^{-19}\ \text{J}$$

b) Por la ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico

$$E_f = W_e + E_c$$

la energía cinética máxima de los electrones emitidos será

$$E_c = E_f - W_e = h \cdot f - W_e = \frac{h \cdot c}{\lambda} - W_e = \frac{6{,}63\times10^{-34}\ [\text{J}\cdot\text{s}]\cdot 3{,}00\times10^{8}\,[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]}{4{,}00\times10^{-7}\,[\text{m}]} - 4{,}42\times10^{-19}\,[\text{J}] = 5{,}53\times10^{-20}\ \text{J}$$

Despejando el potencial de frenado de la expresión de la energía cinética

$$V = \frac{E_c}{e} = \frac{5{,}53\times10^{-20}\,[\text{J}]}{1{,}60\times10^{-19}\,[\text{C}]} = 0{,}35\ \text{V}$$

c) La energía de una radiación de $f = 5\times10^{14}$ Hz, es

$$E = h \cdot f = 6{,}63\times10^{-34}\,[\text{J}\cdot\text{s}] \cdot 5\times10^{14}\,[\text{s}^{-1}] = 3{,}32\times10^{-19}\ \text{J}$$

menor que el trabajo de extracción, por lo que no se producirá efecto fotoeléctrico.

6. Un rayo de luz produce efecto fotoeléctrico en un metal. Calcula:
a) La velocidad de los electrones si el potencial de frenado es de 0,5 V.
b) La longitud de onda necesaria si la frecuencia umbral es $f_0 = 10^{15}$ Hz y el potencial de frenado es 1 V.
c) ¿Aumenta la velocidad de los electrones incrementando la intensidad de la luz incidente?
Datos: $c = 3\times10^8$ m·s^{-1} ; $e = -1{,}6\times10^{-19}$ C; $m_e = 9{,}1\times10^{-31}$ kg; $h = 6{,}63\times10^{-34}$ J·s ***(P.A.U. Jun. 11)***
Rta.: a) $v = 4{,}2\times10^5$ m/s; b) $\lambda = 242$ nm

Datos	***Cifras significativas: 3***
Potencial de frenado a	$V_{f\,a} = 0{,}500$ V
Frecuencia umbral	$f_0 = 1{,}00\times10^{15}$ Hz
Potencial de frenado b	$V_{f\,b} = 1{,}00$ V
Constante de Planck	$h = 6{,}63\times10^{-34}$ J·s
Velocidad de la luz en el vacío	$c = 3{,}00\times10^{8}$ m/s
Carga del electrón	$q_e = -1{,}60\times10^{-19}$ C
Masa del electrón	$m_e = 9{,}10\times10^{-31}$ kg
Incógnitas	
Velocidad de los electrones	v
Longitud de onda	λ
Otros símbolos	
Energía cinética máxima de los electrones emitidos	E_c
Ecuaciones	
De Planck (energía del fotón)	$E_f = h \cdot f$
De Einstein del efecto fotoeléctrico	$E_f = W_e + E_c$
Relación entre la frecuencia y la longitud de onda de una onda	$f = c / \lambda$
Energía cinética	$E_c = ½\, m\, v^2$
Relación entre potencial de frenado y energía cinética	$E_c = q_e \cdot V$

Solución:

a) La energía cinética de los electrones se mide con el potencial de frenado.

$$0 - ½\, m_e\, v^2 = q_e \cdot V_f$$

$$v=\sqrt{\frac{2|q_e|\cdot V_{f\,a}}{m_e}}=\sqrt{\frac{2\cdot 1{,}60\times 10^{-19}\,[\mathrm{C}]\cdot 0{,}500\,[\mathrm{V}]}{9{,}10\times 10^{-31}\,[\mathrm{kg}]}}=4{,}19\times 10^{5}\ \mathrm{m/s}$$

b) El trabajo de extracción es igual a la energía mínima (umbral) del fotón.

$$W_e = h \cdot f_0 = 6{,}63\times10^{-34}\ [\mathrm{J\cdot s}] \cdot 1{,}00\times10^{15}\ [\mathrm{s^{-1}}] = 6{,}63\times10^{-19}\ \mathrm{J}$$

$$E_c = |q_e| \cdot V_{f\,b} = 1{,}60\times10^{-19}\ [\mathrm{C}] \cdot 1{,}00\ [\mathrm{V}] = 1{,}60\times10^{-19}\ \mathrm{J}$$

Por la ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico

$$E_f = W_e + E_c = 6{,}63\times10^{-19}\ [\mathrm{J}] + 1{,}60\times10^{-19}\ [\mathrm{J}] = 8{,}23\times10^{-19}\ \mathrm{J}$$

Despejando la frecuencia del fotón de la expresión de la energía

$$f=\frac{E_f}{h}=\frac{8{,}23\times 10^{-19}\,[\mathrm{J}]}{6{,}63\times 10^{-34}\,[\mathrm{J\cdot s}]}=1{,}24\times 10^{15}\ \mathrm{Hz}$$

$$\lambda=\frac{c}{f}=\frac{3{,}00\times 10^{8}\,[\mathrm{m\cdot s^{-1}}]}{1{,}24\times 10^{15}\,[\mathrm{s^{-1}}]}=2{,}42\times 10^{-7}\ \mathrm{m}$$

c) La intensidad de la luz no afecta a la velocidad de los electrones que sólo depende de la frecuencia de la luz. Es una de las leyes experimentales del efecto fotoeléctrico, explicada por la interpretación de Einstein que dice que la luz es un haz de partículas llamadas *fotones*. Cuando un fotón choca con un electrón, le comunica toda su energía. Por la ecuación de Planck:

$$E_f = h \cdot f$$

Si la energía es suficiente para arrancar el electrón del metal ($E_f > W_e$), la energía restante queda en forma de energía cinética del electrón. Cuanto mayor sea la frecuencia del fotón, mayor será la velocidad del electrón. Al aumentar la intensidad de la luz, lo que se conseguiría sería un mayor número de fotones, que, de tener la energía suficiente, arrancarían más electrones, produciendo una mayor intensidad de corriente eléctrica.

● NÚCLEOS Y PARTÍCULAS.

1. El ^{210}Po tiene una vida media τ = 199,09 días. Calcula:
a) El tiempo necesario para que se desintegre el 70 % de los átomos iniciales.
b) Los miligramos de ^{210}Po al cabo de 2 años si inicialmente había 100 mg.
N_A = 6,02×10^{23} mol^{-1} ***(P.A.U. Set. 06)***
Rta.: a) t = 240 días b) m = 2,55 mg

Datos	***Cifras significativas: 3***
Vida media	τ = 199 días = 1,72×10^{7} s
Porcentaje de la muestra que se ha desintegrado	70,00%
Masa inicial de la muestra	m = 100 mg = 1,00×10^{-7} kg
Tiempo para calcular la masa que queda	t = 2,00 años = 6,31×10^{7} s
Número de Avogadro	N_A = 6,02×10^{23} mol^{-1}
Incógnitas	
Tiempo necesario para que se desintegre el 70 %	t
Masa (mg) al cabo de 2 años	m
Otros símbolos	
Constante de desintegración radiactiva	λ

Ecuaciones

Ley de la desintegración radiactiva $N = N_0 \, e^{-\lambda t}$

$\lambda = \ln (N_0 / N) / t$

Vida media $\tau = 1 / \lambda$

Solución:

a) Se calcula la constante radiactiva a partir de la vida media

$$\lambda = 1 / \tau = 1 / 1{,}72 \times 10^7 \text{ [s]} = 5{,}81 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$$

Si se ha desintegrado el 70,0 %, sólo queda el 30,0 %.
Despejando el tiempo de la ecuación de la ley de desintegración:

$$t = \frac{\ln(N_0/N)}{\lambda} = \frac{\ln(100/30{,}0)}{5{,}81 \times 10^{-8} \text{ [s}^{-1}]} = 2{,}07 \times 10^7 \text{ s} = 240 \text{ días}$$

b) Aplicando la ecuación de la ley de desintegración:

$$N = N_0 \, e^{-\lambda t}$$

Como el número de átomos de un elemento es proporcional a la masa

$$N = m \cdot N_A / M_{at}$$

$$m \frac{\cancel{N_A}}{\cancel{M_{at}}} = m_0 \frac{\cancel{N_A}}{\cancel{M_{at}}} e^{-\lambda t}$$

$$m = m_0 \, e^{-\lambda t} = 100 \text{ [mg]} \, e^{-5{,}81 \times 10^{-8} \text{ [s]} \cdot 6{,}31 \times 10^7 \text{ [s}^{-1}]} = 2{,}55 \text{ mg}$$

2. El período $T_{1/2}$ del elemento radiactivo $^{60}_{27}Co$ es 5,3 años y se desintegra emitiendo partículas β. Calcula:

a) El tiempo que tarda la muestra en convertirse en el 70 % de la original.

b) ¿Cuántas partículas β emite por segundo una muestra de 10^{-6} gramos de ^{60}Co?

Dato: $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} ***(P.A.U. Set. 05)***

Rta.: a) $t = 2{,}73$ años; b) $A = 4{,}1 \times 10^7$ Bq

Datos	***Cifras significativas: 3***
Período de semidesintegración	$T_{1/2} = 5{,}3$ año $= 1{,}67 \times 10^8$ s
Porcentaje que queda sin desintegrar de la muestra	70,00%
Masa de la muestra	$m = 1{,}00 \times 10^{-6}$ g $= 1{,}00 \times 10^{-9}$ kg
Número de Avogadro	$N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}
Incógnitas	
Tiempo transcurrido	t
Partículas β emitidas por segundo	A
Otros símbolos	
Constante de desintegración radiactiva	λ
Ecuaciones	
Ley de la desintegración radiactiva	$N = N_0 \, e^{-\lambda t}$ $\lambda = \ln (N_0 / N) / t$
Cuando $t = T_{1/2}$, $N = N_0 / 2$	$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$
Actividad radiactiva	$A = -\mathrm{d}N / \mathrm{d}t = \lambda \cdot N$

Solución:

a) Se calcula la constante radiactiva a partir del período de semidesintegración

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 0{,}693 / 1{,}67 \times 10^8 \text{ [s]} = 4{,}14 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$$

Despejando el tiempo de la ecuación de la ley de desintegración:

$$t=\frac{\ln(N_0/N)}{\lambda}=\frac{\ln(100/70{,}0)}{4{,}14\times10^{-9}\,[\mathrm{s}^{-1}]}=8{,}62\times10^{7}\ \mathrm{s}=2{,}73\ \text{años}$$

Análisis: Puesto que aún no se ha desintegrado ni la mitad de la muestra, el tiempo transcurrido debe ser menor que el período de semidesintegración.

b) Si la ecuación de desintegración es ${}^{60}_{27}\mathrm{Co}\rightarrow{}^{60}_{28}\mathrm{Ni}+{}^{0}_{-1}e+{}^{0}_{0}\bar{\nu}_e$, el número de partículas β (e^-) emitidas por segundo es igual al número de desintegraciones por segundo, o sea, a la actividad radiactiva.

$$N=1{,}00\times10^{-6}\ \mathrm{g}\ {}^{60}_{27}\mathrm{Co}\ \frac{1\ \mathrm{mol}\ {}^{60}_{27}\mathrm{Co}}{60\ \mathrm{g}\ {}^{60}_{27}\mathrm{Co}}\ \frac{6{,}02\times10^{23}\ \text{átomos}\ {}^{60}_{27}\mathrm{Co}}{1\ \mathrm{mol}\ {}^{60}_{27}\mathrm{Co}}\ \frac{1\ \text{núcleo}\ {}^{60}_{27}\mathrm{Co}}{1\ \text{átomo}\ {}^{60}_{27}\mathrm{Co}}=1{,}0\times10^{16}\ \text{núcleos}\ {}^{60}_{27}\mathrm{Co}$$

$$A = \lambda \cdot N = 4{,}14\times10^{-9}\ [\mathrm{s}^{-1}] \cdot 1{,}0\times10^{16}\ [\text{núcleos}] = 4{,}1\times10^{7}\ \mathrm{Bq} = 4{,}1\times10^{7}\ \text{partículas}\ \beta\ /\ \mathrm{s}$$

3. Una muestra radiactiva disminuye desde 10^{15} a 10^{9} núcleos en 8 días. Calcula:
a) La constante radiactiva λ y el período de semidesintegración $T_{1/2}$.
b) La actividad de la muestra una vez transcurridos 20 días desde que tenía 10^{15} núcleos.
(P.A.U. Jun. 04)

Rta.: a) $\lambda = 2\times10^{-5}\ \mathrm{s}^{-1}$; $T_{1/2}$ = 9 horas; b) A(20 días) ≈ 0

Datos	***Cifras significativas: 1***
Cantidad inicial (núcleos)	$N_0 = 10^{15}$ núcleos
Cantidad al cabo de 8 días (núcleos)	$N = 10^{9}$ núcleos
Tiempo transcurrido	$t = 8$ días $= 7\times10^{5}$ s
Tiempo para el cálculo de la actividad	$t' = 20$ días $= 2\times10^{6}$ s
Incógnitas	
Constante de desintegración radiactiva	λ
Período de semidesintegración	$T_{1/2}$
Actividad radiactiva	A
Ecuaciones	
Ley de la desintegración radiactiva	$N = N_0\ \mathrm{e}^{-\lambda t}$ $\lambda = \ln(N_0 / N) / t$
Cuando $t = T_{1/2}$, $N = N_0 / 2$	$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$
Actividad radiactiva	$A = -\mathrm{d}N / \mathrm{d}t = \lambda \cdot N$

Solución:

a)

$$\lambda = \ln(N_0 / N) / t = \ln(10^{6}) / 7\times10^{5}\ [\mathrm{s}] = 2\times10^{-5}\ \mathrm{s}^{-1}$$

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 3\times10^{4}\ \mathrm{s} \approx 9\ \text{horas}$$

b) De la ley de desintegración, a los 20 días,

$$N = N_0\ \mathrm{e}^{-\lambda t} = 10^{15}\ \mathrm{e}^{-40} = 1\ \text{núcleo}$$

*Este resultado indica que la ley estadística de la desintegración deja de ser válida, ya que el número de átomos es demasiado pequeño. (Es como si se quisiera aplicar el dato de la esperanza de vida de una mujer (*83 años*) para deducir que una mujer concreta – María – moriría a los* 83 años*). Para un átomo en concreto, sólo se puede decir que la probabilidad de que se desintegre en el período de semidesintegración es del* 50 %.
Como no se puede calcular la cantidad de núcleos que quedan (pueden ser unos pocos o ninguno), la actividad tampoco se puede calcular (unas 10^{-4} *o* 10^{-5} Bq *o ninguna). teniendo en cuenta de* 10^{-4} Bq *es una desintegración cada* 3 horas*, un contador Geiger no detectaría actividad en la muestra al cabo de esos* 20 días*)*

4. En una muestra de ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ radiactivo con un periodo de semidesintegración de 8 días había inicialmente $1{,}2\times10^{21}$ átomos y actualmente solo hay $0{,}2\times10^{20}$. Calcula:

a) La antigüedad de la muestra.
b) La actividad de la muestra transcurridos 50 días desde el instante inicial.

(P.A.U. Jun. 06)

Datos	***Cifras significativas: 2***
Cantidad inicial (núcleos)	$N_0 = 1{,}2 \times 10^{21}$ núcleos
Cantidad actual (núcleos)	$N = 0{,}20 \times 10^{20}$ núcleos
Período de semidesintegración	$T_{1/2} = 8{,}0$ días $= 6{,}9 \times 10^5$ s
Tiempo para el cálculo de la actividad	$t' = 50$ días $= 4{,}3 \times 10^6$ s
Incógnitas	
Tiempo transcurrido	t
Actividad radiactiva	A
Otros símbolos	
Constante de desintegración radiactiva	λ
Ecuaciones	
Ley de la desintegración radiactiva	$N = N_0 \text{ e}^{-\lambda t}$ $\lambda = \ln (N_0 / N) / t$
	Cuando $t = T_{1/2}$, $N = N_0 / 2$ $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$
Actividad radiactiva	$A = -\text{d}N / \text{d}t = \lambda \cdot N$

Solución:

a) Se calcula la constante de desintegración radiactiva del yodo-131 a partir del período de semidesintegración

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0{,}69}{6{,}9 \times 10^5 \text{ [s]}} = 1{,}0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

$$t = \frac{\ln\left(\frac{N_0}{N}\right)}{\lambda} = \frac{\ln\left(\frac{1{,}2 \times 10^{21} \text{ [núcleos]}}{0{,}20 \times 10^{20} \text{ [núcleos]}}\right)}{1{,}0 \times 10^{-6} \text{ [s}^{-1}\text{]}} = 4{,}1 \times 10^6 \text{ s} = 47 \text{ días}$$

b) De la ley de desintegración, a los 50 días, quedarán

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = 1{,}2 \times 10^{21} \text{ [núcleos]} \, e^{-1{,}0 \times 10^{-6} \text{ [s]} \cdot 4{,}3 \times 10^6 \text{ [s}^{-1}\text{]}} = 1{,}6 \times 10^{19} \text{ núcleos}$$

La actividad será:

$$A = \lambda \cdot N = 1{,}0 \times 10^{-6} \text{ [s}^{-1}\text{]} \cdot 1{,}6 \times 10^{19} \text{ [núcleos]} = 1{,}6 \times 10^{13} \text{ Bq}$$

5. El tritio ($^3_1$H) es un isótopo del hidrógeno inestable con un período de semidesintegración $T_{1/2}$ de 12,5 años, y se desintegra emitiendo una partícula beta. El análisis de una muestra en una botella de agua lleva a que la actividad debida al tritio es el 75 % de la que presenta el agua en el manantial de origen. Calcula:
a) El tiempo que lleva embotellada el agua de la muestra.
b) La actividad de una muestra que contiene 10^{-6} g de $^3_1$H
$N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} ***(P.A.U. Set. 04)***
Rta.: a) $t = 5{,}2$ años; b) $A = 4 \times 10^8$ Bq

Datos	***Cifras significativas: 3***
Período de semidesintegración	$T_{1/2} = 12{,}5$ año $= 3{,}94 \times 10^8$ s
Actividad de la muestra	$A = 75{,}0$ % A_0
Masa de la muestra	$m = 1{,}00 \times 10^{-6}$ g $= 1{,}00 \times 10^{-9}$ kg
Número de Avogadro	$N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}
Incógnitas	
Tiempo transcurrido	t
Actividad radiactiva	A

Otros símbolos

Constante de desintegración radiactiva λ

Ecuaciones

Ley de la desintegración radiactiva $N = N_0\ e^{-\lambda t}$

$\lambda = \ln (N_0 / N) / t$

Cuando $t = T_{1/2},\ N = N_0 / 2$ $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$

Actividad radiactiva $A = -\mathrm{d}N / \mathrm{d}t = \lambda \cdot N$

Solución:

a) Se calcula la constante radiactiva a partir del período de semidesintegración

$$\lambda=\frac{\ln 2}{T_{1/2}}=\frac{0{,}693}{3{,}94\times 10^{8}\ [\mathrm{s}]}=1{,}76\times 10^{-9}\ \mathrm{s}^{-1}$$

Despejando el tiempo de la ecuación de la ley de desintegración:

$$t=\frac{\ln(N_0/N)}{\lambda}=\frac{\ln(\lambda\cdot N_0/\lambda\cdot N)}{\lambda}=\frac{\ln(A_0/A)}{\lambda}=\frac{\ln(100/75{,}0)}{1{,}76\times 10^{-9}\ [\mathrm{s}^{-1}]}=1{,}64\times 10^{8}\ \mathrm{s}=5{,}19\ \text{años}$$

Análisis: Puesto que aún no se ha desintegrado ni la mitad de la muestra, el tiempo transcurrido debe ser menor que el período de semidesintegración.

b)

$$N=1{,}00\times 10^{-6}\ \mathrm{g}\ {}_{1}^{3}\mathrm{H}\ \frac{1\ \mathrm{mol}\ {}_{1}^{3}\mathrm{H}}{3\ \mathrm{g}\ {}_{1}^{3}\mathrm{H}}\ \frac{6{,}02\times 10^{23}\ \text{átomos}\ {}_{1}^{3}\mathrm{H}}{1\ \mathrm{mol}\ {}_{1}^{3}\mathrm{H}}\ \frac{1\ \text{núcleo}\ {}_{1}^{3}\mathrm{H}}{1\ \text{átomo}\ {}_{1}^{3}\mathrm{H}}=2{,}01\times 10^{17}\ \text{núcleos}\ {}_{1}^{3}\mathrm{H}$$

$$A = \lambda \cdot N = 1{,}76 \times 10^{-9}\ [\mathrm{s}^{-1}] \cdot 2{,}01 \times 10^{17}\ [\text{núcleos}] = 3{,}53\times 10^{8}\ \mathrm{Bq}$$

6. El carbono-14 tiene un período de semidesintegración T = 5730 años. Una muestra tiene una actividad de 6×10^8 desintegraciones/minuto. Calcula:

a) La masa inicial de la muestra.

b) Su actividad dentro de 5000 años.

c) Justifica por qué se usa este isótopo para estimar la edad de yacimientos arqueológicos.

Datos: $N_A = 6{,}02\cdot 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$; masa atómica del ^{14}C = 14 g ***(P.A.U. Set. 10)***

Rta.: a) $m = 6{,}04\times 10^{-5}$ g; b) $A = 5{,}46\times 10^{6}$ Bq

Datos	***Cifras significativas: 3***
Período de semidesintegración	$T_{1/2}$ = 5 730 años = $1{,}81\times 10^{11}$ s
Actividad de la muestra	$A_0 = 6{,}00\times 10^{8}$ des/min = $1{,}00\times 10^{7}$ Bq
Tiempo para calcular la actividad	t = 5 000 años = $1{,}58\times 10^{11}$ s
Masa atómica del ^{14}C	m = 14,0 g/mol
Número de Avogadro	$N_A = 6{,}02\times 10^{23}\ \mathrm{mol}^{-1}$
Incógnitas	
Masa inicial de la muestra	m_0
Actividad radiactiva a los 5000 años	A
Otros símbolos	
Constante de desintegración radiactiva	λ
Ecuaciones	
Ley de la desintegración radiactiva	$N = N_0\ e^{-\lambda t}$ $\lambda = \ln (N_0 / N) / t$
Cuando $t = T_{1/2},\ N = N_0 / 2$	$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$
Actividad radiactiva	$A = -\mathrm{d}N / \mathrm{d}t = \lambda \cdot N$

Solución:

a) De la expresión de la actividad radiactiva: $A = \lambda N$, se puede calcular el número de átomos cuando calculemos la constante λ de desintegración radiactiva.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0{,}693}{1{,}81 \times 10^{11}\ [\text{s}]} = 3{,}83 \times 10^{-12}\ \text{s}^{-1} = 0{,}000175\ \text{año}^{-1}$$

$$N_0 = \frac{A_0}{\lambda} = \frac{1{,}00 \times 10^{7}\ [\text{Bq}]}{3{,}83 \times 10^{-12}\ [\text{s}^{-1}]} = 2{,}61 \times 10^{18}\ \text{átomos}$$

$$m_0 = \frac{N_0}{N_A} \cdot M = \frac{2{,}61 \times 10^{18}\ [\text{átomos}]}{6{,}02 \times 10^{23}\ [\text{átomos/mol}]} \cdot 14\ [\text{g/mol}] = 6{,}06 \times 10^{-5}\ \text{g} = 60{,}6\ \mu\text{g}$$

b) La actividad al cabo de 5000 años será:

$$A = A_0\ e^{-\lambda t} = 1{,}00 \times 10^{7}\ [\text{Bq}]\ e^{-0{,}000175\ [1/\text{año}] \cdot 5000\ [\text{año}]} = 5{,}46 \times 10^{6}\ \text{Bq} = 3{,}28 \times 10^{8}\ \text{des/min}$$

c) Por el valor del período de semidesintegración, el carbono-14 se emplea para datar restos (que necesariamente deben contener carbono, normalmente restos orgánicos como madera, huesos, etc.) relativamente recientes, de menos de 50 000 años, (tiempo en el que la actividad radiactiva original habrá disminuido a la milésima parte).
El método del carbono -14 se basa en el hecho de que la proporción de carbono-14 en las plantas vivas se mantiene constante al largo de su vida, ya que el carbono desintegrado se compensa por el asimilado en la fotosíntesis, y que el carbono-14 atmosférico se restituye por la radiación cósmica que convierte el nitrógeno atmosférico en carbono-14. Cuando la planta muere, el carbono que se desintegra ya no se repone y, con la ecuación anterior, podemos determinar el tiempo transcurrido midiendo su actividad radiactiva y comparándola con la que tiene una planta viva.

7. Una muestra de carbono-14 tiene una actividad de $2{,}8 \times 10^{8}$ desintegraciones·s^{-1}. El período de semidesintegración es *T* = 5730 años. Calcula:
a) La masa de la muestra en el instante inicial.
b) La actividad al cabo de 2000 años.
c) La masa de muestra en ese instante.
Datos: $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol⁻¹; masa atómica del ^{14}C = 14 g·mol⁻¹; 1 año = $3{,}16 \times 10^{7}$ s ***(P.A.U. Jun. 12)***
Rta.: a) $m_0 = 1{,}7$ mg; b) $A = 2{,}2 \times 10^{8}$ Bq; c) $m = 1{,}3$ mg

Datos	***Cifras significativas: 3***
Período de semidesintegración	$T_{1/2} = 5\,730$ años $= 1{,}81 \times 10^{11}$ s
Actividad de la muestra	$A_0 = 2{,}80 \times 10^{8}$ Bq
Tiempo para calcular la actividad	$t = 2\,000$ años $= 6{,}31 \times 10^{10}$ s
Masa atómica del ^{14}C	$m = 14{,}0$ g/mol
Número de Avogadro	$N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$
Incógnitas	
Masa inicial de la muestra	m_0
Actividad radiactiva a los 2000 años	A
Masa de la muestra a los 2000 años	m
Otros símbolos	
Constante de desintegración radiactiva	λ
Ecuaciones	
Ley de la desintegración radiactiva	$N = N_0\ e^{-\lambda t}$ $\lambda = \ln (N_0 / N) / t$
Cuando $t = T_{1/2}$, $N = N_0 / 2$	$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$
Actividad radiactiva	$A = -dN / dt = \lambda \cdot N$

Solución:

a) De la expresión de la actividad radiactiva: $A = \lambda N$, se puede calcular el número de átomos cuando calculemos la constante λ de desintegración radiactiva.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0{,}693}{1{,}81 \times 10^{11}\ [\text{s}]} = 3{,}83 \times 10^{-12}\ \text{s}^{-1} = 0{,}000175\ \text{años}$$

$$N_0=\frac{A_0}{\lambda}=\frac{2{,}80\times 10^8\ [\text{Bq}]}{3{,}83\times 10^{-12}\ [\text{s}^{-1}]}=7{,}30\times 10^{19}\ \text{átomos}$$

$$m_0=\frac{N_0}{N_\text{A}}\cdot M=\frac{7{,}30\times 10^{19}\ [\text{átomos}]}{6{,}02\times 10^{23}\ [\text{átomos/mol}]}\cdot 14\ [\text{g/mol}]=1{,}7\times 10^{-3}\ \text{g}=1{,}7\ \text{mg}$$

b) La actividad al cabo de 2 000 años será:

$$A = A_0\ \text{e}^{-\lambda t} = 1{,}00\times 10^7\ [\text{Bq}]\ \text{e}^{-0{,}000175\ [1/\text{año}]\ \cdot\ 2\,000\ [\text{año}]} = 2{,}20\times 10^8\ \text{Bq}$$

c) Y la masa:

$$m = m_0\ \text{e}^{-\lambda t} = 1{,}7\ [\text{mg}]\ \text{e}^{-0{,}000175[1/\text{año}]\ \cdot\ 2\,000\ [\text{año}]} = 1{,}33\ \text{mg}$$

◊ CUESTIONES

● FÍSICA RELATIVISTA

1. Según Einstein, la velocidad de la luz en el vacío:
A) Es constante para sistemas de referencia en reposo.
B) Es constante independientemente del sistema de referencia elegido.
C) Depende de la velocidad del foco emisor.

(P.A.U. Jun. 98)

Solución: B

Los postulados de la relatividad restringida pueden enunciarse:
1. Todos los sistemas inerciales son equivalentes con respecto la todas las leyes de la Física.
2. La velocidad de la luz en el vacío posee siempre el valor constante *c*.
Las otras opciones:
A. es cierto, pero este es un caso particular de la opción B correcta.
C. una de las características del segundo postulado de Einstein es que la velocidad a la que la luz se aleja de una fuente es totalmente independiente del movimiento propio de la fuente.

2. Un vehículo espacial se aleja de la Tierra con una velocidad de 0,5 *c* (*c* = velocidad de la luz). Desde la Tierra se envía una señal luminosa y la tripulación mide la velocidad de la señal obteniendo el valor:
A) 0,5 *c*
B) *c*
C) 1,5 *c*

(P.A.U. Jun. 04 y Set. 07)

Solución: B

El segundo postulado de la teoría especial de la relatividad de Einstein establece que la velocidad de la luz en el vacío es constante e independiente del sistema de referencia inercial desde el que se mida.

3. La energía relativista total de una masa en reposo:
A) Relaciona la longitud de onda con la cantidad de movimiento.
B) Representa la equivalencia entre materia y energía.
C) Relaciona las incertidumbres de la posición y del momento.

(P.A.U. Set. 12)

Solución: B

La ecuación

$$E = m \cdot c^2$$

en la que m es la masa en reposo de la partícula, representa la energía en reposo de una partícula. Establece la relación entre masa y energía.
Esta ecuación permite expresar la masa de las partículas en unidades de energía. Por ejemplo, la masa de un protón es de 938 MeV, o la del electrón 0,511 MeV.

Las otras opciones:
A. Falsa. La ecuación que relaciona la longitud de onda λ con la cantidad de movimiento p es la ecuación de Luis de Broglie, de la dualidad onda-partícula.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m v}$$

que permite calcular la longitud de onda asociada a una partícula de masa m que se mueve con una velocidad v.
C. Falsa. El principio de indeterminación (antes conocido como principio de incertidumbre) de Heisenberg podía interpretarse como la imposibilidad de conocer con precisión absoluta dos magnitudes cuyo producto tuviese las unidades de energía · tiempo («acción»). El error en la posición de una partícula Δx multiplicado por el error de su momento (cantidad de movimiento) Δp_x era superior a la constante h de Planck entre 4 π.

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geqslant \frac{h}{4\pi}$$

4. La ecuación de Einstein *E* = *m*·*c*² implica que:
A) Una determinada masa m necesita una energía *E* para ponerse en movimiento.
B) La energía *E* es la que tiene una masa *m* que se mueve a la velocidad de la luz.
C) *E* es la energía equivalente a una determinada masa.

(P.A.U. Set. 05)

Solución: C

La ecuación $E = m \cdot c^2$ da la energía total de una partícula (en ausencia de campos que puedan comunicarle una energía potencial). Aunque la partícula esté en reposo, tendrá una energía:

$$E_0 = m_0 \cdot c^2$$

en la que m_0 es la masa en reposo de la partícula.
Una aplicación de esa ecuación es para el cálculo de la energía que puede obtenerse en la desintegración nuclear, es decir de la energía nuclear. Un gramo (1×10^{-3} kg) de masa, si se «aniquila» totalmente, produce una energía de:

$$E = m \cdot c^2 = 1\times10^{-3}\ [\text{kg}] \cdot (3\times10^8\ [\text{m/s}])^2 = 9\times10^{13}\ \text{J} = 2{,}5\times10^7\ \text{kW·h} = 250\ \text{GW·h}$$

que cubriría las necesidades energéticas de una ciudad mediana durante un mes.

● MECÁNICA CUÁNTICA

1. La energía de un cuanto de luz es directamente proporcional:
A) A la longitud de onda.
B) A la frecuencia.
C) Al cuadrado de la velocidad de la luz.

(P.A.U. Set. 01)

Solución: B

La ecuación de Planck dice que la energía un cuanto se rige por:

$$E = h \cdot f$$

en la que h es la constante de Planck de valor $h = 6{,}62\times10^{-34}$ J·s, y f es la frecuencia del oscilador.

Cuando Einstein aplicó la ecuación de Planck para interpretar el efecto fotoeléctrico indicó que cuando la luz interaccionaba con la materia lo hacía en forma de paquetes de energía, también llamados fotones, de energía

$$E = h \cdot f$$

donde ahora f es la frecuencia de la luz.
Las otras opciones:
A. Aunque la ecuación de Planck puede escribirse como

$$E = h \cdot c / \lambda$$

la energía del fotón sería inversamente proporcional a la longitud de onda.
C. La ecuación de Einstein de la equivalencia masa-energía

$$E = m \cdot c^2$$

es la energía total de una partícula en movimiento, aplicable principalmente cuando se mueve a velocidades próximas a las de la luz, pero no a un cuanto de luz, porque su masa en reposo es nula.

2. La luz generada por el Sol:
A) Está formada por ondas electromagnéticas de diferente longitud de onda.
B) Son ondas que se propagan en el vacío a diferentes velocidades.
C) Son fotones de la misma energía.

(P.A.U. Set. 04)

Solución: A

La luz del Sol es luz blanca. Newton ya demostró que, al pasar a través de un prisma de vidrio se dispersaba en varias colores que al pasar de nuevo por un segundo prisma, orientado adecuadamente, recomponían de nuevo la luz blanca. Aunque Newton pensaba que la luz estaba formada por un chorro de partículas, fue la hipótesis ondulatoria de su rival Huygens la que se fue comprobando a lo largo de los siglos. Así Young consiguió figuras de interferencia al hacer pasar luz a través de una doble rendija. Maxwell unificó la fuerza eléctrica y la magnética y vio que de cierta combinación de la permitividad eléctrica ε_0 y la permeabilidad magnética μ_0 del vacío, obtenía el valor de la velocidad de la luz.

$$c = (\varepsilon_0 \cdot \mu_0)^{-1/2}$$

Maxwell demostró que la luz es una superposición de un campo eléctrico oscilante que generaba un campo magnético oscilante perpendicular al eléctrico que se propagaba por el vacío la 300 000 km/s.
Una luz monocromática tiene una longitud de onda determinada (entre 400 y 700 nm). Los colores del arco iris corresponden a una dispersión de la luz en sus componentes monocromáticas.
La opción B no puede ser correcta, ya que uno de los postulados de Einstein de la relatividad especial dice que la velocidad de la luz en el vacío es una constante, independientemente del sistema de referencia desde el que se mida.
La opción C tampoco es la correcta. Cuando la naturaleza ondulatoria de la luz estaba probada, la interpretación de Einstein del efecto fotoeléctrico demostró que la luz monocromática era también un chorro de partículas a las que llamó fotones, que tenían una energía dada por la ecuación de Planck

$$E = h \cdot f$$

donde h es la constante de Planck y f la frecuencia de la luz monocromática. En las experiencias del efecto fotoeléctrico se vio que al iluminar el cátodo con luz monocromática de distintas frecuencias, obtenidas por ejemplo, dispersando la luz blanca con un prisma, existía una frecuencia mínima o frecuencia umbral para que se produjese el efecto fotoeléctrico. Según la interpretación de Einstein, la luz que no producía el efecto fotoeléctrico era por que no tenía la energía suficiente.

3. ¿Cuál de los siguientes fenómenos constituye una prueba de la teoría corpuscular de la luz?
A) La refracción.
B) La difracción.
C) El efecto fotoeléctrico.

(P.A.U. Set. 01)

Solución: C

La interpretación de Einstein del efecto fotoeléctrico dice que cuando la luz interacciona con el metal de la célula fotoeléctrica lo hace como si estuviese constituida por paquetes de energía, también llamados fotones, de energía

$$E = h \cdot f$$

en la que h es la constante de Planck de valor $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J·s, y f es la frecuencia de la luz.
Si la energía de los fotones no llega para arrancar los electrones del metal, no se produce efecto fotoeléctrico (de acuerdo con el hecho experimental de que hay una frecuencia umbral por debajo de la cual no se produce efecto fotoeléctrico).

Las otras opciones:
A. La refracción fue interpretada por el modelo ondulatorio de Huygens.
B. La difracción es una propiedad exclusiva de las ondas. Cuando Davidson y Germer consiguieron la difracción de electrones, ésto confirmó la doble naturaleza (onda-corpúsculo) según la hipótesis de de Broglie.

4. Si la indeterminación en la medida de la posición de una partícula es de $6{,}00 \times 10^{-30}$ m, la indeterminación mínima en la medida del momento es:
A) La misma.
B) Mayor.
C) Ninguna.
Dato *h* = $6{,}62 \times 10^{-34}$ J·s ***(P.A.U. Set. 02)***

Solución: B

El principio de indeterminación dice que el producto de la indeterminación en una componente de la posición por la indeterminación en la misma componente del momento lineal es mayo o igual que h / 2π.

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h / 4\pi$$

Despejando la componente en el momento lineal:

$$\Delta p_x \geq h / (4\pi \Delta x) = 6{,}62 \times 10^{-34} \text{ [J·s]} / (4 \pi\ 6{,}00 \times 10^{-30} \text{ [m]}) = 8{,}78 \times 10^{-6} \text{ kg·m·s}^{-1}$$

que es mucho mayor.

5. Al irradiar un metal con luz roja (682 nm) se produce efecto fotoeléctrico. Si irradiamos el mismo metal con luz amarilla (570 nm):
A) No se produce efecto fotoeléctrico.
B) Los electrones emitidos se mueven más rápidamente.
C) Se emiten más electrones pero a la misma velocidad.
(P.A.U. Jun. 14)

Solución: B

En la interpretación de Einstein del efecto fotoeléctrico la luz se pode considerar como un haz de partículas llamadas *fotones*. La energía E que lleva un fotón de frecuencia f es:

$$E = h \cdot f$$

en la que h es la constante de Planck y tiene un valor muy pequeño: $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s
Como la frecuencia de una onda es inversamente proporcional su longitud de onda λ,

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

cuanto menor sea su longitud de onda, mayor será la frecuencia y mayor será la energía del fotón.
El efecto fotoeléctrico se produce cuando cada fotón choca con un electrón y le transmite toda su energía.
La ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico puede escribirse:

$$E_f = W_e + E_c$$

en la que E_f representa la energía del fotón incidente, W_e el trabajo de extracción del metal y E_c la energía cinética máxima de los electrones (fotoelectrones) emitidos.
La energía cinética máxima de los electrones emitidos será:

$$E_c = E_f - W_e$$

Por lo tanto, cuanto mayor sea la energía de los fotones, mayor será la energía cinética (y la velocidad) de los electrones emitidos.

Las otras opciones:
A. Falsa. Si la luz roja produce efecto fotoeléctrico es que sus fotones tienen energía suficiente para extraer los electrones del metal. Como los fotones de luz amarilla tienen más energía (porque su longitud de onda es menor), también podrán producir efecto fotoeléctrico.
C. Falsa. Como ya se dijo, el efecto fotoeléctrico se produce cuándo cada fotón choca con un electrón y le transmite toda su energía. Para producir más electrones tendría que haber más fotones. La cantidad de fotones está relacionada con la intensidad de la luz, pero no tiene que ver con la energía de los fotones.

6. Si se duplica la frecuencia de la radiación que incide sobre un metal:
A) Se duplica la energía cinética de los electrones extraídos.
B) La energía cinética de los electrones extraídos no experimenta modificación.
C) No es cierta ninguna de las opciones anteriores.

(P.A.U. Set. 14)

Solución: C

En la interpretación de Einstein del efecto fotoeléctrico la luz se pode considerar como un haz de partículas llamadas *fotones*. La energía E_f que lleva un fotón de frecuencia f es:

$$E_f = h \cdot f$$

en la que h es la constante de Planck y tiene un valor muy pequeño: $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s
El efecto fotoeléctrico se produce cuando cada fotón choca con un electrón y le transmite toda su energía.
La ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico puede escribirse:

$$E_f = W_e + E_c$$

en la que E_f representa la energía del fotón incidente, W_e el trabajo de extracción del metal y E_c la energía cinética máxima de los electrones (fotoelectrones) emitidos.
La energía cinética máxima de los electrones emitidos será:

$$E_c = E_f - W_e$$

Por lo tanto, si se duplica la frecuencia de la radiación incidente, se duplica la energía de los fotones, y se hace mayor la energía cinética (y la velocidad) de los electrones emitidos.
Por tanto, la opción B es falsa.
Pero como no hay proporcionalidad entre la energía cinética y la energía del fotón, la opción A también es falsa.

7. Se produce efecto fotoeléctrico cuando fotones de frecuencia *f*, superior a una frecuencia umbral *f*$_0$, inciden sobre ciertos metales. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta?
A) Se emiten fotones de menor frecuencia.
B) Se emiten electrones.
C) Hay un cierto retraso temporal entre el instante de la iluminación y el de la emisión de partículas.

(P.A.U. Jun. 13)

Solución: B

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un metal cuando se ilumina con luz de frecuencia superior a una determinada frecuencia conocida como frecuencia umbral y que es una característica de cada metal. Su interpretación por Einstein fue la confirmación de la teoría cuántica de Planck. Según esta interpretación la luz no está constituida por ondas, como ya había quedado demostrado, sino por unas partículas a las que denominó fotones, cada una de ellas poseedora de una energía E proporcional a la frecuencia f de la luz, siendo h, la constante de Planck, el factor de proporcionalidad.

$$E = h \cdot f$$

Las otras opciones:
A. Falsa. El fenómeno por el que algunas sustancias emiten radiación de menor frecuencia al ser iluminadas se conoce como fluorescencia, pero no tiene nada que ver con el efecto fotoeléctrico.
C. Falsa. Una de las leyes experimentales del efecto fotoeléctrico dice que la emisión de electrones por el metal es instantánea al ser iluminado con la frecuencia adecuada. No existe ningún retraso.

8. Para producir efecto fotoeléctrico no se usa luz visible, sino ultravioleta, y es porque la luz UV:
A) Calienta más la superficie metálica.
B) Tiene mayor frecuencia.
C) Tiene mayor longitud de onda.
(P.A.U. Set. 09)

Solución: B

Una de las leyes experimentales del efecto fotoeléctrico dice que, empleando luz monocromática, sólo se produce efecto fotoeléctrico si la frecuencia de la luz supera un valor mínimo, llamado frecuencia umbral. Como la luz ultravioleta tiene mayor frecuencia que la luz visible, es más seguro que se produzca efecto fotoeléctrico con luz ultravioleta que con luz visible, aunque existen metales empleados como cátodos en células fotoeléctricas en los que luz visible, de alta frecuencia como azul o violeta, puede hacerlas funcionar.

9. Un metal cuyo trabajo de extracción es 4,25 eV, se ilumina con fotones de 5,5 eV. ¿Cuál es la energía cinética máxima de los fotoelectrones emitidos?
A) 5,5 eV
B) 1,25 eV
C) 9,75 eV
(P.A.U. Set. 07)

Solución: B

La ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico puede escribirse:

$$E_f = W_e + E_c$$

en la que E_f representa la energía del fotón incidente, W_e el trabajo de extracción del metal y E_c la energía cinética máxima de los electrones (fotoelectrones) emitidos.
Sustituyendo valores queda:

$$E_c = E_f - W_e = 5,5 - 4,25 = 1,2 \text{ eV}$$

10. En el efecto fotoeléctrico:
A) La energía cinética de los electrones emitidos depende de la intensidad de la luz incidente.
B) Hay una frecuencia mínima para la luz incidente.
C) El trabajo de extracción no depende de la naturaleza del metal.
(P.A.U. Jun. 03)

Solución: B

Es una de las leyes experimentales del efecto fotoeléctrico. Estas son:
1. Empleando luz monocromática, sólo se produce efecto fotoeléctrico si la frecuencia de la luz supera un valor mínimo, llamado frecuencia umbral.
2. Es instantáneo.
3. La intensidad de la corriente de saturación es proporcional a la intensidad de la luz incidente.
4. La energía cinética máxima de los electrones emitidos por el cátodo, medida como potencial de frenado, depende sólo de la frecuencia de la luz incidente.

Estas leyes fueron explicadas por Einstein suponiendo que la luz se comporta como un haz de partículas llamadas fotones, y que cada uno de ellos interacciona con un único electrón, comunicándole toda su energía:

$$E_{\text{FOTON}} = W_{\text{EXTRACCION}} + E_{\text{C ELECTRON}}$$

$$h \cdot f = h \cdot f_0 + ½\, m_e\, v^2$$

11. Se produce efecto fotoeléctrico, cuando fotones mas energéticos que los visibles, como por ejemplo luz ultravioleta, inciden sobre la superficie limpia de un metal. ¿De que depende el que haya o no emisión de electrones?:
A) De la intensidad de la luz.
B) De la frecuencia de la luz y de la naturaleza del metal.
C) Sólo del tipo de metal.

(P.A.U. Set. 08)

Solución: B

La ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico puede escribirse:

$$E_f = W_e + E_c$$

en la que E_f representa la energía del fotón incidente, W_e el trabajo de extracción del metal y E_c la energía cinética máxima de los electrones (fotoelectrones) emitidos.
Para que ocurra efecto fotoeléctrico debe haber electrones con energía suficiente para llegar al anticátodo. Esta energía E_c depende de que la energía de los fotones supere al trabajo de extracción que es una característica del metal.
Por la ecuación de Planck

$$E_f = h \cdot f$$

la energía de los fotones depende de su frecuencia.

12. Con un rayo de luz de longitud de onda λ no se produce efecto fotoeléctrico en un metal. Para conseguirlo se debe aumentar:
A) La longitud de onda λ.
B) La frecuencia *f*.
C) El potencial de frenado.

(P.A.U. Jun. 11)

Solución: B

El efecto fotoeléctrico, cuya interpretación por Einstein permitió confirmar la teoría cuántica de Planck, está basada en un conjunto de leyes experimentales.
Una de estas leyes dice que si se va variando la longitud de onda de la luz que incide sobre el cátodo de la célula fotoeléctrica, existe una frecuencia umbral f_0, por debajo de la cual no se produce efecto fotoeléctrico.
En la interpretación de Einstein la luz se puede considerar como un haz de partículas llamadas *fotones*. La energía E que lleva un fotón de frecuencia f es:

$$E = h \cdot f$$

en la que h es la constante de Planck y tiene un valor muy pequeño: $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s
El efecto fotoeléctrico se produce cuando cada fotón choca con un electrón y le transmite toda su energía
Cuanto mayor sea la frecuencia, mayor será la energía del fotón.
Si no se produce efecto fotoeléctrico con el rayo de luz original, habrá que emplear otro de mayor energía, o sea, de mayor frecuencia.

13. Una radiación monocromática, de longitud de onda 300 nm, incide sobre cesio. Si la longitud de onda umbral del cesio es 622 nm, el potencial de frenado es:
A) 12,5 V
B) 2,15 V
C) 125 V

Datos 1 nm = 10^9 m; *h* = $6,63\times10^{-34}$ J·s; *c* = 3×10^8 m·s^{-1}; q_e = $-1,6\times10^{-19}$ C ***(P.A.U. Set. 13)***

Datos	***Cifras significativas: 3***
Longitud de onda de la radiación	$\lambda = 300$ nm $= 3,00\times10^{-7}$ m
Longitud de onda umbral del cesio	$\lambda_0 = 622$ nm $= 6,22\times10^{-7}$ m
Constante de Planck	$h = 6,62\times10^{-34}$ J·s
Velocidad de la luz en el vacío	$c = 3,00\times10^8$ m/s
Carga del electrón	$e = 1,60\times10^{-19}$ C
Incógnitas	
Potencial de frenado	V
Otros símbolos	
Frecuencia umbral	f_0
Ecuaciones	
De Planck (energía de un fotón)	$E_f = h \cdot f$
De Einstein del efecto fotoeléctrico	$E_f = W_e + E_c$
Relación entre la frecuencia y la longitud de onda de una onda	$f = c / \lambda$
Relación entre la energía cinética de los electrones y el potencial de frenado	$E_c = e \cdot V$

Solución: B

Partiendo de la ecuación de Einstein y sustituyendo en ella las de Planck y la relación entre longitud de onda y frecuencia, queda

$$E_c = E_f - W_e = h f - h f_0 = \frac{h \cdot c}{\lambda} - \frac{h \cdot c}{\lambda_0} = h \cdot c \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$$

$$E_c = 6,62\times10^{-34}\,[\text{J·s}] \cdot 3,00\times10^8\,[\text{m·s}^{-1}] \left(\frac{1}{3,00\times10^{-7}\,[\text{m}]} - \frac{1}{6,22\times10^{-7}\,[\text{m}]} \right) = 3,43\times10^{-19}\ \text{J}$$

$$V = \frac{E_c}{e} = \frac{3,43\times10^{-19}\,[\text{J}]}{1,6\times10^{-19}\,[\text{C}]} = 2,14\ \text{V}$$

14. Cuando se dispersan rayos X en grafito, se observa que emergen fotones de menor energía que la incidente y electrones de alta velocidad. Este fenómeno puede explicarse por:
A) Una colisión totalmente inelástica entre un fotón y un átomo.
B) Elástica entre un fotón y un electrón.
C) Elástica entre dos fotones.

(P.A.U. Set. 04)

Solución: B

Se conoce como efecto Compton, que junto a la interpretación de Einstein del efecto fotoeléctrico, sentó las bases de la naturaleza corpuscular de la luz (aunque sin abandonar su carácter ondulatorio). En él los electrones débilmente ligados a los átomos de carbono son golpeados por los fotones en un choque elástico. (Se conserva la energía, y también el momento lineal). Los rayos X dispersados salen con una energía menor, y, por tanto, su longitud de onda aumenta. La ecuación

$$\lambda_f - \lambda_0 = \frac{h}{m \cdot c}(1 - \cos\theta)$$

da la la variación de la longitud de onda de la radiación emergente λ_f respecto a la emergente λ_0 en función del ángulo de dispersión θ. El término *h / mc* tiene dimensión de longitud y recibe el nombre de longitud de onda de Compton.

La opción A no puede ser correcta porque en un choque inelástico las partículas quedan pegadas. Cuando un fotón incide en un átomo, y la energía no llega para expulsar un electrón, se provoca un salto del electrón a un nivel de energía superior, y luego se emite un fotón cuando el electrón retorna a su nivel de energía más bajo.

La opción C tampoco es correcta. En un choque entre dos fotones, si la energía es suficiente y las condiciones adecuadas, se producirá un par electrón-positrón, de acuerdo con la ecuación de equivalencia entre masa y energía de Einstein: $E = m \cdot c^2$.

15. Según la hipótesis de De Broglie, se cumple que:
A) Un protón y un electrón con la misma velocidad tienen asociada la misma onda.
B) Dos protones a diferente velocidad tienen asociada la misma onda.
C) La longitud de la onda asociada a un protón es inversamente proporcional a su momento lineal.

(P.A.U. Set. 12)

Solución: C

De Broglie propuso que en algunos casos el comportamiento de ciertas partículas podría interpretarse como el de ondas cuya longitud de onda asociada λ vendría dada por la expresión:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$$

en la que h es la constante de Planck y m la masa de la partícula y v su velocidad.
Como h es una constante y $m\ v$ es la expresión del momento lineal o cantidad de movimiento, la longitud de la onda asociada a un protón es inversamente proporcional a su momento lineal.

Las otras opciones.
A. Falsa. De la expresión anterior se deduce que la longitud de onda depende de la masa además de la velocidad. Como la masa de un protón es mucho mayor que la del electrón, la longitud de onda asociada a un protón que se mueve a la misma velocidad que un electrón es mucho menor.
B. Falsa. El protón más rápido tendrá menor longitud de onda.

16. De la hipótesis de De Broglie, dualidad onda-corpúsculo, se deduce como consecuencia:
A) Que los electrones pueden mostrar comportamiento ondulatorio $\lambda = h / p$.
B) Que la energía de las partículas atómicas está cuantizada $E = h f$.
C) Que la energía total de una partícula es $E = m c^2$.

(P.A.U. Set. 03)

Solución: A

La interpretación de Einstein del efecto fotoeléctrico demostró que la luz se comporta como un chorro de partículas llamadas fotones de energía:

$$E = h \cdot f$$

En el efecto Compton, el fotón se comporta como una partícula de momento lineal:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h \cdot f}{\lambda \cdot f} = \frac{h}{\lambda}$$

Como ya estaba establecido que la luz se propaga como una onda, se propuso que el comportamiento era dual: en algunos experimentos el comportamiento de la luz parece ser corpuscular y en otros, ondulatorio.
De Broglie propuso que este comportamiento dual también afecta a cualquier partícula. En algunos casos el comportamiento de ciertas partículas podría interpretarse como el de ondas cuya longitud de onda asociada λ viene dada por la expresión:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$$

en la que h es la constante de Planck y m la masa de la partícula y v su velocidad.
En pocos años esta hipótesis quedó confirmada por los experimentos de difracción de electrones.

17. De la hipótesis de De Broglie, dualidad onda-corpúsculo, se deriva como consecuencia:
A) Que las partículas en movimiento pueden mostrar comportamiento ondulatorio.
B) Que la energía total de una partícula es $E = m \cdot c^2$
C) Que se puede medir simultáneamente y con precisión ilimitada la posición y el momento de una partícula.
(P.A.U. Jun. 08)

Solución: A. Ver la respuesta a la cuestión de Set. 03

18. La relación entre la velocidad de una partícula y la longitud de onda asociada se establece:
A) Con la ecuación de De Broglie.
B) Por medio del principio de Heisenberg.
C) A través de la relación de Einstein masa-energía.
(P.A.U. Jun. 05)

Solución: A. Ver la respuesta a la cuestión de Set. 03

19. La longitud de onda asociada a un electrón de 100 eV de energía cinética es:
A) $2,3\times10^{-5}$ m
B) $1,2\times10^{-10}$ m
C) 10^{-7} m
Datos: $h = 6,63\times10^{-34}$ J·s; $m_e = 9,1\times10^{-31}$ kg; $q_e = -1,6\times10^{-19}$ C ***(P.A.U. Set. 13)***

Solución: B

De Broglie propuso que en algunos casos el comportamiento de ciertas partículas podría interpretarse como el de ondas cuya longitud de onda asociada λ vendría dada por la expresión:

$$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{m\cdot v}$$

en la que h es la constante de Planck y m la masa de la partícula y v su velocidad.
La energía cinética de 100 eV corresponden a:

$$E_c = 100 \cdot 1,6\times10^{-19}\ [\text{C}] \cdot 1\ [\text{V}] = 1,6\times10^{-17}\ \text{J}$$

que es la de un electrón que se mueve a una velocidad de:

$$v=\sqrt{\frac{2E_c}{m}}=\sqrt{\frac{2\cdot1,6\times10^{-19}\ [\text{J}]}{9,1\times10^{-31}\ [\text{kg}]}}=5,93\times10^{5}\ \text{m/s}$$

Sustituyendo en la ecuación de De Broglie, queda

$$\lambda=\frac{h}{m\cdot v}=\frac{6,63\times10^{-34}\ [\text{J}\cdot\text{s}]}{9,1\times10^{-31}\ [\text{kg}]\cdot5,93\times10^{5}\ [\text{m/s}]}=1,23\times10^{-9}\ \text{m}$$

● NÚCLEOS Y PARTÍCULAS

1. Un isótopo radiactivo tiene un periodo de semidesintegración de 10 días. Si se parte de 200 gramos del isótopo, se tendrán 25 gramos del mismo al cabo de:
A) 10 días.
B) 30 días.
C) 80 días.
(P.A.U. Jun. 08)

Solución: B

El período de semidesintegración de una sustancia radiactiva es el tiempo que transcurre hasta que sólo queda la mitad de la muestra original. Es un valor constante.

Si se parte de 200 g del isótopo, al cabo de 10 días quedarán 100 g (la mitad) sin desintegrar. Al cabo de otros 10 días quedarán 50 g y al cabo de otros 10 días sólo habrá 25 g.
El tiempo transcurrido es de 10 + 10 + 10 = 30 días.
Es una consecuencia de la ley de desintegración radiactiva:

$$N = N_0\ e^{-\lambda t}$$

en la que λ es la constante de desintegración, relacionada con el período $T_{1/2}$ de semidesintegración por:

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$$

2. El $^{237}_{94}Pu$ se desintegra, emitiendo partículas alfa, con un período de semidesintegración de 45,7 días. Los días que deben transcurrir para que la muestra inicial se reduzca la octava parte son:
A) 365,6
B) 91,4
C) 137,1

(P.A.U. Set. 08)

Solución: C

El período de semidesintegración de una sustancia radiactiva es el tiempo que transcurre hasta que sólo queda la mitad de la muestra original. Es un valor constante.
Si se parte de una masa *m* de isótopo, al cabo de un período quedará la mitad sin desintegrar, al cabo de otro período quedará la cuarta parte y al cabo de un tercer período sólo habrá la cuarta parte.
El tiempo transcurrido es de 3 períodos = 3 · 45,7 = 137 días.
Es una consecuencia de la ley de desintegración radiactiva:

$$N = N_0\ e^{-\lambda t}$$

en la que λ es la constante de desintegración, relacionada con al período $T_{1/2}$ de semidesintegración por:

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$$

3. Una masa de átomos radiactivos tarda tres años en reducir su masa al 90 % de la masa original. ¿Cuántos años tardará en reducirse al 81 % de la masa original?:
A) Seis.
B) Más de nueve.
C) Tres.

(P.A.U. Set. 09)

Solución: A

El período de semidesintegración de una sustancia radiactiva es el tiempo que transcurre hasta que sólo queda la mitad de la muestra original. Es un valor constante.
La ecuación que da la la cantidad *N* de substancia que quieta al fin y a la postre de un *tiempo t* es:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

en la que λ es la constante de desintegración radiactiva.
Escribiendo esta ecuación con logaritmos y sustituyendo los datos se pode calcular la constante λ:

$$\ln N = \ln N_0 - \lambda \cdot t$$

$$\ln 0{,}90\ N_0 = \ln N_0 - \lambda \cdot 3$$

$$\ln 0{,}90 = - \lambda \cdot 3$$

$$\lambda = \frac{-\ln 0{,}90}{3} = 0{,}015 \text{ año}^{-1}$$

Con el dato del 81 % despejamos *t* y queda:

$$t = \frac{-\ln 0{,}81}{\lambda} = \frac{-\ln 0{,}81}{0{,}015 \text{ año}^{-1}} = 6 \text{ años}$$

También se podría resolver notando que el 81 % de la muestra original es el 90 % del que quedaba a los 3 años. Por tanto tendrían que transcurrir 3 años más.

4. Si la vida media de un isótopo radiactivo es $5{,}8\times10^{-6}$ s, el periodo de semidesintegración es:
A) $1{,}7\times10^{5}$ s
B) $4{,}0\times10^{-6}$ s
C) $2{,}9\times10^{5}$ s

***(P.A.U. Jun. 09*)**

Solución: B

La respuesta más simple es por semejanza. Aunque período de semidesintegración y vida media no son lo mismo, son del mismo orden de magnitud.
La vida media es la "esperanza de vida" de un núcleo. Es un término estadístico igual a la suma de los productos del tiempo de vida de cada núcleo por el número de núcleos que tienen ese tiempo dividido por el total de núcleos.

$$\tau = \frac{\int_0^{N_0} t \, \mathrm{d} N}{N_0} = \frac{1}{\lambda}$$

Donde λ es la constante de desintegración radiactiva, que aparece en la ecuación exponencial de desintegración:

$$N = N_0 \mathrm{e}^{-\lambda t}$$

El período de semidesintegración es el tiempo que tarda en reducirse a la mitad la cantidad de núcleos de sustancia radiactiva. Si en la ecuación de desintegración sustituimos N por $N_0 / 2$, $t = T_{1/2}$.

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \mathrm{e}^{-\lambda T_{1/2}}$$

y extraemos logaritmos:

$$\ln(1/2) = -\lambda\ T_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

vemos que el período de semidesintegración es:

$$T_{1/2}. = \tau \cdot \ln 2$$

algo menor (ln 2 = 0,693) que la vida media τ. Esto se cumple con la opción B.

$$\frac{4{,}0\times10^{-6}\ [\mathrm{s}]}{5{,}8\times10^{-6}\ [\mathrm{s}]} = 0{,}69 \approx \ln 2$$

5. Una roca contiene el mismo número de núcleos de dos isótopos radiactivos A y B, de periodos de semidesintegración de 1600 años y 1000 años respectivamente; para estos isótopos se cumple que:
A) El A tiene mayor actividad radiactiva que B.
B) B tiene mayor actividad que A.
C) Ambos tienen la misma actividad.

(P.A.U. Set. 11)

Solución: B

La actividad radiactiva es el número de desintegraciones por segundo y es proporcional a la cantidad de isótopo radiactivo

$$A = -\mathrm{d}\,N / \mathrm{d}\,t = \lambda \cdot N$$

siendo λ la constante de desintegración radiactiva.
Integrando la ecuación anterior, se encuentra la relación entre λ y el período de semidesintegración $T_{1/2}$.

$$N = N_0\, e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \ln (N_0 / N) / t$$

Cuando $t = T_{1/2}$, $N = N_0 / 2$

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$$

Tendrá una constante λ de desintegración mayor el isótopo de menor período de semidesintegración.

6. La actividad en el instante inicial de medio mol de una sustancia radiactiva cuyo período de semidesintegración es de 1 día, es:
A) 2,41×10^{18} Bq
B) 3,01×10^{23} Bq
C) 0,5 Bq
Dato: N_A = 6,022×10^{23} mol^{-1} ***(P.A.U. Set. 13)***

Solución: A

La actividad radiactiva es el número de desintegraciones por segundo y es proporcional a la cantidad de isótopo radiactivo

$$A = -\mathrm{d}\,N / \mathrm{d}\,t = \lambda \cdot N$$

siendo λ la constante de desintegración radiactiva.
Integrando la ecuación anterior, se encuentra la relación entre λ y el período de semidesintegración $T_{1/2}$.

$$N = N_0\, e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln (N_0 / N)}{t}$$

Cuando $t = T_{1/2}$, $N = N_0 / 2$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0{,}693}{1\ [\text{día}] \cdot 24\ [\text{h/día}] \cdot 3600\ [\text{s/h}]} = 8{,}02 \times 10^{-6}\ \text{s}^{-1}$$

$$A = \lambda \cdot N = 8{,}02 \times 10^{-6}\ [\text{s}^{-1}] \cdot 0{,}500\ [\text{mol}] \cdot 6{,}022 \times 10^{23}\ [\text{mol}^{-1}] = 2{,}42 \times 10^{18}\ \text{Bq}$$

7. En la desintegración beta(–):
A) Se emite un electrón de la parte externa del átomo.
B) Se emite un electrón desde el núcleo.
C) Se emite un neutrón.
(P.A.U. Set. 11, Jun. 99)

Solución: B

Las leyes de Soddy dicen que cuando un átomo emite radiación β(-), el átomo resultante tiene el mismo número másico pero una unidad más de número atómico.

$${}^{A}_{Z}\text{X} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}\text{Y} + {}^{0}_{-1}\text{e}$$

Cuando se analizó la radiación β(-) se descubrió que estaba constituida por electrones. Como la desintegración es debida a la inestabilidad del núcleo, los electrones proceden del núcleo aunque el núcleo está constituido sólo por neutrones y protones. Pero se sabe que un neutrón aislado se descompone por interacción débil en poco tiempo (una vida media de unos 15 min) en un protón, un electrón y un antineutrino electrónico.

$$^1_0n \rightarrow ^1_1H + ^0_{-1}e + ^0_0\bar{\nu}_e$$

por lo que se puede suponer que los electrones nucleares proceden de una desintegración semejante.
Las otras opciones:
A. Si un átomo emitiese electrones de su envoltura, se obtendría un átomo del mismo número atómico y másico, sólo que una carga positiva (un catión).

$$^A_ZX \rightarrow ^A_ZX^+ + ^0_{-1}e^-$$

B. La emisión de un neutrón no es una desintegración natural del núcleo. Sólo ocurre cuando es bombardeado por otras partículas (incluso neutrones). Las formas de desintegración natural (radiactividad natural) son la desintegración alfa (α = núcleo de helio-4), desintegración beta (β = electrón) y la emisión de radiación gamma (γ = radiación electromagnética de alta energía).

8. En una reacción nuclear de fisión:
A) Se funden núcleos de elementos ligeros (deuterio o tritio).
B) Es siempre una reacción espontánea.
C) Se libera gran cantidad de energía asociada al defecto de masa.

(P.A.U. Jun. 09)

Solución: C

En las reacciones nucleares se libera mucha energía que es equivalente al defecto de masa, según la ecuación de Einstein:

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

Las reacciones de fisión se producen al bombardear un núcleo pesado, uranio o plutonio, con neutrones térmicos, que se mueven a la velocidad adecuada para producir la fragmentación del núcleo en dos núcleos más pequeños y la emisión de dos o tres neutrones que producen una reacción en cadena (si no se controla).

Las otras opciones:
A. Falsa. El proceso propuesto corresponde a una reacción de fusión. Concretamente la que ocurre en el interior de las estrellas para producir helio.
B. Falsa. Los procesos de fisión deben ser provocados. Aunque es cierto que algunos isótopos del uranio emiten espontáneamente neutrones, se necesita enriquecer el uranio para que la emisión de neutrones sea capaz de automantenerse. Y se necesita que se acumule suficiente cantidad de uranio para superar la masa crítica que podría provocar la reacción de fisión.

9. Un elemento químico $^{214}_{83}X$ que experimente sucesivamente una emisión alfa α, tres emisiones beta *β*(–), y una gamma *γ*, se transformará en el elemento:
A) $^{214}_{82}Y$
B) $^{210}_{84}Y$
C) $^{210}_{82}Y$

(P.A.U. Set. 00)

Solución: *B*

Las propiedades del núcleo resultante después de una emisión alfa, beta o gamma pueden deducirse por la naturaleza de estas radiaciones y las leyes de conservación del número másico y de la carga eléctrica en los procesos nucleares.
Una partícula alfa es un núcleo de helio-4 (α = ^4_2He), una partícula beta(-) es un electrón (β^- = $^0_{-1}e$) y la radiación gamma es radiación electromagnética de alta energía (γ = $^0_0\gamma$).
Escribiendo las reacciones del enunciado y aplicando las leyes de conservación mencionadas

$$^{214}_{83}X \rightarrow ^4_2He + 3\,^0_{-1}e + ^0_0\gamma + ^{210}_{84}Y$$

Las otras opciones no cumplen las leyes de conservación de número másico y número atómico.

10. Si un núcleo atómico emite una partícula α, dos partículas β⁻ y dos partículas γ, su número atómico:
A) Disminuye en dos unidades.
B) Aumenta en dos unidades.
C) No varía.

(P.A.U. Jun. 07 y Jun. 02)

Solución: C

Las propiedades del núcleo resultante después de una emisión alfa, beta o gamma pueden deducirse por la naturaleza de estas radiaciones y las leyes de conservación del número másico y de la carga eléctrica en los procesos nucleares.
Una partícula alfa es un núcleo de helio-4 ($\alpha = {}_{2}^{4}\text{He}$), una partícula beta(-) es un electrón ($\beta^{-} = {}_{-1}^{0}\text{e}$) y la radiación gamma es radiación electromagnética de alta energía ($\gamma = {}_{0}^{0}\gamma$).
Escribiendo las reacciones del enunciado y aplicando las leyes de conservación mencionadas

$${}_{Z}^{A}\text{X} \rightarrow {}_{2}^{4}\text{He} + 2\,{}_{-1}^{0}\text{e} + 2\,{}_{0}^{0}\gamma + {}_{Z}^{A-4}\text{Y}$$

11. Si un núcleo atómico emite una partícula α y dos partículas β, su número atómico *Z* y másico *A*:
A) *Z* aumenta en dos unidades y *A* disminuye en dos.
B) *Z* no varía y *A* disminuye en cuatro.
C) *Z* disminuye en dos y *A* no varía.

(P.A.U. Jun. 12)

Solución: B

Las propiedades del núcleo resultante después de una emisión alfa o beta pueden deducirse por la naturaleza de estas radiaciones y las leyes de conservación del número másico y de la carga eléctrica en los procesos nucleares.
Una partícula alfa es un núcleo de helio-4 ($\alpha = {}_{2}^{4}\text{He}$) y una partícula beta(-) es un electrón ($\beta^{-} = {}_{-1}^{0}\text{e}$)
Escribiendo las reacciones del enunciado y aplicando las leyes de conservación mencionadas

$${}_{Z}^{A}\text{X} \rightarrow {}_{2}^{4}\text{He} + 2\,{}_{-1}^{0}\text{e} + {}_{Z}^{A-4}\text{Y}$$

12. El elemento radioactivo se desintegra emitiendo una partícula alfa, dos partículas beta y una radiación gamma. El elemento resultante es:
A) ${}_{88}^{227}\text{X}$
B) ${}_{89}^{228}\text{Y}$
C) ${}_{90}^{228}\text{Z}$

(P.A.U. Jun. 11)

Solución: C

Las partículas alfa son núcleos de helio ${}_{2}^{4}\text{He}$, las partículas beta electrones ${}_{-1}^{0}\text{e}$ y las radiaciones gamma fotones ${}_{0}^{0}\gamma$.
Escribiendo la reacción nuclear

$${}_{90}^{232}\text{Th} \rightarrow {}_{2}^{4}\text{He} + 2\,{}_{-1}^{0}\text{e} + {}_{0}^{0}\gamma + {}_{Z}^{A}\text{D}$$

y aplicando los principios de conservación del número bariónico (o número másico) y de la carga, queda:

$$232 = 4 + A \Rightarrow A = 228$$

$$90 = 2 + 2 \cdot (-1) + Z \Rightarrow Z = 90$$

13. Si el núcleo de un elemento químico $^{5}_{2}X$ (*A* = 5 y *Z* = 2) posee una masa total de 5,0324 u.m.a., la energía de enlace por nucleón es:
A) Positiva.
B) Negativa.
C) Nula.
(Datos 1 u.m.a. = 1,49×10^{-10} J; m_p = 1,0072 u.m.a. m_n = 1,0086 u.m.a.) ***(P.A.U. Jun. 02)***

Solución: A o B

Depende como se defina la energía de enlace por nucleón. Si es la energía necesaria para desintegrar un núcleo atómico en sus nucleones constituyentes (dividida por el número de nucleones) es positiva. Si la definición está basada en el proceso de formación del núcleo a partir de sus nucleones es negativa.
Lo que siempre es cierto es que un núcleo tiene siempre menor masa que la suma de las masas de sus nucleones, por lo que se habla de un defecto de masa en la hipotética formación de un núcleo a partir de sus nucleones.

14. En la siguiente reacción nuclear, ¿cuáles son los valores de A y Z del núcleo X? $^{32}_{15}P \rightarrow ^{A}_{Z}X + ^{0}_{-1}e$
A) *A* = 32, *Z* = 14
B) *A* = 31, *Z* = 16
C) *A* = 32, *Z* = 16
(P.A.U. Set. 02)

Solución: C

Por las leyes de conservación del número de masa: 32 = A + 0, por lo que A = 32
y de la carga eléctrica: 15 = Z – 1, por lo que Z = 16

15. En la siguiente reacción nuclear $\gamma + ^{9}_{4}Be \rightarrow ^{8}_{3}Li + ^{A}_{Z}X$, la partícula *X* es:
A) Un protón.
B) Un neutrón.
C) Un electrón.
(P.A.U. Set. 03)

Solución: A

La radiación γ no tiene carga ni masa en reposo.
Por las leyes de conservación del número de masa: 0+ 9 = 8 + A, por lo que A = 1
y de la carga eléctrica: 0 + 4 = 3 + Z, por lo que Z = 1
La partícula es un protón.

16. Cuando se bombardea nitrógeno $^{14}_{7}N$ con partículas alfa se genera el isótopo $^{17}_{8}O$ y otras partículas. La reacción es:
A) $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{17}_{8}O + p$
B) $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{17}_{8}O + n + \beta$
C) $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}\alpha \rightarrow ^{17}_{8}O + p + n + \gamma$
(P.A.U. Jun. 06)

Solución: A

Partícula	*alfa* α	*beta* **β**	*protón* **p**	*neutrón* **n**	*radiación* γ
Nº bariónico	4	0	1	1	0
Carga	+2	-1	+1	0	0
Símbolo	$^{4}_{2}He$	$^{0}_{-1}e$	$^{1}_{1}H$	$^{1}_{0}n$	$^{0}_{0}\gamma$

Por los principios de conservación del número bariónico (nº nucleones = nº de protones + nº neutrones) y de la carga, la única solución posible es la A, ya que el número bariónico total antes de la reacción nuclear es: 14 + 4 = 18 y la carga total 7 + 2 = +9

Reacción	***nº bariónico***	***carga***
A: ${}^{14}_{7}\text{N}+{}^{4}_{2}\text{He}\rightarrow{}^{18}_{8}\text{O}+{}^{1}_{1}\text{H}$	18 + 1 = 19	8 + 1 = +9
B: ${}^{14}_{7}\text{N}+{}^{4}_{2}\text{He}\rightarrow{}^{18}_{8}\text{O}+{}^{1}_{0}\text{n}+{}^{0}_{-1}\text{e}$	18 + 1 + 0 = 19	8 + 0 – 1 = +7
C: ${}^{14}_{7}\text{N}+{}^{4}_{2}\text{He}\rightarrow{}^{18}_{8}\text{O}+{}^{1}_{1}\text{H}+{}^{1}_{0}\text{n}+{}^{0}_{0}\gamma$	18 + 1 + 1 = 20	8 + 1 + 0 + 0 = +9

17. En la desintegración β⁻.
A) El número atómico aumenta una unidad.
B) El número másico aumenta una unidad.
C) Ambos permanecen constantes.

(P.A.U. Jun. 05)

Solución: A

Una desintegración β⁻ es una emisión de un electrón del núcleo, que se produce por la transformación de un neutrón en un protón.

$${}^{1}_{0}\text{n}\rightarrow{}^{1}_{1}\text{H}+{}^{0}_{-1}\text{e}+{}^{0}_{0}\bar{\nu}_{e}$$

Por las leyes de conservación de la carga y el número másico

$${}^{A}_{Z}\text{X}\rightarrow{}^{A}_{Z+1}\text{Y}+{}^{0}_{-1}\text{e}$$

18. ¿Cuál de las siguientes reacciones nucleares representa el resultado de la fisión del ${}^{235}_{92}\text{U}$ cuando absorbe un neutrón?
A) ${}^{209}_{82}\text{Pb}+5\,\alpha+3\,\text{p}+4\,\text{n}$
B) ${}^{90}_{62}\text{Sr}+{}^{140}_{54}\text{Xe}+6\,\text{n}+\beta$
C) ${}^{141}_{56}\text{Ba}+{}^{92}_{36}\text{Kr}+3\text{n}$

(P.A.U. Set. 06)

Solución: C

Una reacción de fisión se produce cuando un núcleo absorbe un neutrón y se rompe (fisiona) en dos fragmentos emitiendo dos o tres neutrones.

$${}^{235}_{92}\text{U}+{}^{1}_{0}\text{n}\rightarrow{}^{141}_{56}\text{Ba}+{}^{92}_{36}\text{Kr}+3\,{}^{1}_{0}\text{n}$$

que cumple los principios de conservación del número bariónico:

$$235 +1 = 141 + 92 + 3 =236$$

y de la carga eléctrica

$$92 + 0 = 56 + 36 + 0 = 92$$

Las otras opciones:
A: el tamaño de los fragmentos ${}^{209}_{82}\text{Pb}$ y α (${}^{4}_{2}\text{He}$) es muy diferente, se produce un número de neutrones (4) excesivo, se emiten protones y no se cumple el principio de conservación de la carga eléctrica: 82 + 5·2 + 3·1 ≠ 92.
B: se produce un número de neutrones (6) excesivo, se producen además electrones β y no se cumple el principio de conservación de la carga eléctrica: 62 + 54 + 6·0 + –1 ≠ 92.

19. ¿Cuál de estas reacciones nucleares es posible?:
A) $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He$
B) $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$
C) $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 2\,^{1}_{0}n$

(P.A.U. Jun. 07)

Solución: B

Por los principios de conservación del número bariónico (nº nucleones = nº de protones + nº neutrones) y de la carga, la única solución posible es la B, ya que el número bariónico total antes y después es:
14 + 4 = 17 + 1 = 18

Reacción	***nº bariónico***	***carga***
A: $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He$	$2 + 3 \neq 4$	$1 + 1 = 2$
B: $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$	$14 + 4 = 17 + 1$	$7 + 2 = 8 + 1$
C: $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 2\,^{1}_{0}n$	$235 + 1 \neq 141 + 92 + 2 \cdot 1$	$92 + 0 = 56 + 36 + 2 \cdot 0$

20. ¿Cuál de las siguientes reacciones nucleares es correcta?
A) $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n$
B) $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + 2\,^{1}_{0}n$
C) $^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{7}_{3}Li + ^{2}_{1}H$

(P.A.U. Jun. 10)

Solución: A

Por los principios de conservación del número bariónico (nº de nucleones = nº de protones + nº de neutrones) y de la carga, la única solución posible es la A, ya que el número bariónico total antes y después es:
235 + 1 = 141 + 92 + 3·1 = 236

Reacción	***nº bariónico***	***carga***
A: $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{141}_{56}Ba + ^{92}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n$	$235 + 1 = 141 + 92 + 3 \cdot 1 = 236$	$92 + 0 = 56 + 36 + 3 \cdot 0$
B: $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + 2\,^{1}_{0}n$	$2 + 3 \neq 4 + 2 \cdot 1$	$1 + 1 = 2 + 2 \cdot 0$
C: $^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{7}_{3}Li + ^{2}_{1}H$	$10 + 1 \neq 7 + 2$	$5 + 0 \neq 3 + 1$

21. En la formación del núcleo de un átomo:
A) Disminuye la masa y se desprende energía.
B) Aumenta la masa y se absorbe energía.
C) En unos casos sucede la opción A y en otros casos la B.

(P.A.U. Set. 14)

Solución: A

La masa del núcleo es siempre inferior a la suma de las masas de los nucleones que lo componen. La diferencia entre la masa del núcleo y los nucleones se llama defecto de masa «Δm».
El proceso hipotético de la formación de un núcleo a partir de la unión de los protones y neutrones que lo forman desprende una gran cantidad de energía que procede de la transformación del defecto de masa «Δm» en energía «E», según la ecuación de Einstein.

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

en la que «c» es la velocidad de la luz.
A esta energía se la conoce como energía de enlace y, dividida por en número de nucleones, como energía de enlace por nucleón.

Esta energía de enlace por nucleón aumenta con el número atómico en los núcleos más ligeros hasta alcanzar un máximo en el hierro, a partir del cual desciendo ligeramente. Esto indica que el núcleo de hierro es el más estable.
En realidad los núcleos de los átomos se forman por reacciones de fusión nuclear o bien en el interior de las estrellas, los anteriores al hierro, o bien en la explosión de supernovas, los posteriores.

22. En una fusión nuclear:
A) No se precisa energía de activación.
B) Intervienen átomos pesados.
C) Se libera energía debida al defecto de masa.

(P.A.U. Set. 10)

Solución: C

El proceso de fusión nuclear consiste en la reacción entre núcleos ligeros para producir otros más pesados.
Es el proceso que proporciona la energía las estrellas y que se produce en la bomba de hidrógeno.
Una reacción de fusión sería:

$$^{3}_{1}\text{H} + ^{2}_{1}\text{H} \rightarrow ^{4}_{2}\text{He} + ^{1}_{0}\text{n}$$

la que ocurre entre los isótopos tritio y deuterio para producir helio y un neutrón.
Las reacciones nucleares producen una gran cantidad de energía que procede de la transformación del defecto de masa «Δm» en energía «E », según la ecuación de Einstein.

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

en la que «c» es la velocidad de la luz.
La suma de las masas del helio-4 y del neutrón es inferior a la suma de las masas del tritio ^{3}H y del deuterio ^{2}H.
La energía de activación es un concepto de la cinética química que mide la energía necesaria para iniciar un proceso, como la que aporta la llama de una cerilla para iniciar la combustión del papel. Las reacciones nucleares de fusión necesitan una gran energía para acercar los núcleos a distancias muy cortas venciendo la repulsión eléctrica entre ellos. La temperatura que necesitaría un gas de átomos de isótopos de hidrógeno para que los choques entre ellos fueran eficaces y los núcleos produjeran helio es de la orden del millón de grados. El proceso ocurre en el interior de las estrellas donde la energía gravitatoria produce enormes temperaturas. En las pruebas nucleares de la bomba H de hidrógeno, se empleaba una bomba atómica de fisión como detonante. En la actualidad los experimentos para producir energía nuclear de fusión emplean láseres de alta energía que comuniquen a átomos individuales la energía suficiente para superar la barrera de repulsión eléctrica, y aunque se han obtenido resultados positivos, no se ha diseñado un sistema rentable de producir energía a gran escala.

23. En la reacción $^{235}_{92}\text{U} + ^{1}_{0}\text{n} \rightarrow ^{141}_{56}\text{Ba} + ^{A}_{Z}\text{X} + 3\,^{1}_{0}\text{n}$ se cumple que:
A) Es una fusión nuclear.
B) Se libera energía correspondiente al defecto de masa.
C) El elemento X es $^{92}_{35}\text{X}$.

(P.A.U. Jun. 13)

Solución: B

En las reacciones nucleares se libera energía. Esta energía proviene de la transformación de masa en energía que sigue la ley de Einstein.

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

en la que Δm es el defecto de masa y c la velocidad de la luz.

Las otras opciones:
A. Falsa. El proceso de fusión nuclear consiste en la reacción entre núcleos ligeros para producir otros más pesados. Esta reacción nuclear consiste en romper un núcleo pesado en otros más ligeros: es una fisión.
C. Por los principios de conservación del número bariónico (nº nucleones = nº de protones + nº neutrones)

$$235 + 1 = 141 + A + 3 \cdot 1$$

$$A = 92$$

y de la carga:

$$92 + 0 = 56 + Z + 3 \cdot 0$$

$$Z = 36 \neq 35$$

Índice de contenido

Cuestiones y problemas de las Pruebas de Acceso a la Universidad (P.A.U.) en Galicia.
Respuestas y composición de Alfonso J. Barbadillo Marán, alfbar@bigfoot.com
Algunas ecuaciones se han construido con las macros de la extensión CLC09 de Charles Lalanne-Cassou
La traducción al/desde el gallego se realizó con la ayuda de traducindote, de Óscar Hermida López.
Algunos cálculos se hicieron con una hoja de cálculo OpenOffice (o LibreOffice) hecha por Alfonso Barbadillo Marán.
Se procuró seguir las normas recomendadas por la oficina de metrología en el documento
http://www.cem.es/sites/default/files/recomendaciones_cem_ensenanza_metrologia_sep_2014_v01.pdf