

Actividad 1

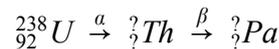
- [a] ¿En qué consiste el efecto fotoeléctrico? ¿Es una reafirmación de la teoría corpuscular o de la teoría ondulatoria?
- [b] ¿Cómo es posible que los protones y neutrones que constituyen un núcleo permanezcan unidos, siendo tan pequeño el tamaño del núcleo y repulsivas las fuerzas entre las cargas eléctricas del mismo signo?
- {ACLARACIÓN: Cada uno de estos apartados fue propuesto como un ejercicio independiente en pruebas diferentes}

Respuesta

- [a] Consulta el libro de Física. Recuerda que la explicación del efecto fotoeléctrico, debida a Einstein, reafirma la teoría corpuscular de la luz.
- [b] Consulta el libro de Física. En tu respuesta debe aparecer una nueva fuerza: la **interacción nuclear fuerte**.

Actividad 2

- [a] Explica las características de los principales tipos de radiactividad: α , β y γ .
- [b] Los dos primeros pasos de la cadena de desintegración del ${}_{92}^{238}U$ son:



Completa las correspondientes ecuaciones de desintegración, indicando los números másico y atómico de los núcleos "hijo" y "nieto".

Respuesta

- [a] Consulta el libro de Física.
- [b] En la primera desintegración se emite una partícula α , esto es, un núcleo de helio; los números atómico y másico del núcleo "hijo" son, entonces, ${}_{92}^{238}U \rightarrow {}_{90}^{234}Th + {}_2^4He$.

En la segunda desintegración se emite una partícula β , es decir, un electrón; en consecuencia, los números atómico y másico del núcleo "nieto" son: ${}_{90}^{234}Th \rightarrow {}_{91}^{234}Pa + {}_{-1}^0\beta$.

Actividad 3

- [a] Explica por qué y cómo puede determinarse la edad de los restos de un organismo prehistórico por el "método del carbono-14".
- [b] Se observa que la actividad radiactiva de una muestra de madera prehistórica es diez veces inferior a la de una muestra de igual masa de madera moderna. Sabiendo que el periodo de semidesintegración de ${}^{14}C$ es de 5600 años, calcula la antigüedad de la primera muestra.

Respuesta

- [a] Consulta los apuntes de Física.
- [b] Se cumple que la actividad radiactiva de una madera prehistórica es diez veces inferior a la actividad radiactiva de una madera moderna, es decir: $A = \frac{A_0}{10}$. Por otro lado, tenemos que: $A = A_0 e^{-\lambda t}$, por lo que, para calcular t , se necesita conocer el valor de la constante de desintegración λ .
El periodo de semidesintegración $T_{1/2}$ está relacionado con la constante de desintegración λ mediante: $\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}$, así que $\lambda = \frac{0,693}{5600} = 1,24 \cdot 10^{-4} (\text{años}^{-1})$. Llevando este resultado a la ecuación fundamental de la desintegración radiactiva, queda: $\frac{A_0}{10} = A_0 e^{-1,24 \cdot 10^{-4} t}$; se simplifica A_0 y se toman logaritmos neperianos a ambos lados de la igualdad:
 $\ln\left(\frac{1}{10}\right) = -1,24 \cdot 10^{-4} t$; $-2,30 = -1,24 \cdot 10^{-4} t$; $t = 1,85 \cdot 10^4$ años.

Actividad 4

Contesta razonadamente las siguientes preguntas acerca del *efecto fotoeléctrico*:

- [a] ¿Depende la energía de los fotoelectrones de la intensidad de la radiación incidente? ¿Y de su longitud de onda?
- [b] ¿Qué es el potencial de frenado (o de corte)? Explica su dependencia con la frecuencia de la luz incidente.

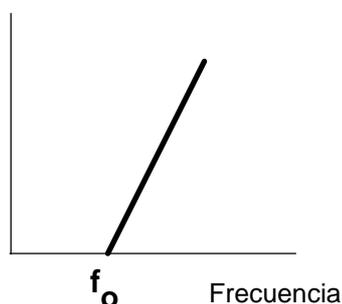
Respuesta

[a] La respuesta está en las **leyes de la emisión fotoeléctrica**; en particular, en la tercera ley; ten en cuenta que la longitud de onda y la frecuencia están relacionadas.

1. Para un metal y una frecuencia de radiación incidente dados, la cantidad de fotoelectrones emitidos es directamente proporcional a la intensidad de luz incidente.
2. Para cada metal dado, existe una cierta frecuencia mínima de radiación incidente debajo de la cual ningún fotoelectrón puede ser emitido. Esta frecuencia se llama frecuencia de corte o frecuencia umbral.
3. Por encima de la frecuencia de corte, la energía cinética máxima del fotoelectrón emitido es independiente de la intensidad de la luz incidente, pero depende de la frecuencia de la luz incidente.
4. El tiempo de retraso entre la incidencia de la radiación y la emisión del fotoelectrón es muy pequeña, menos que 10^{-9} segundos.

[b] El potencial de frenado es la diferencia de potencial a la que hay que someter a los terminales de la célula fotoeléctrica para lograr que se interrumpa la corriente de fotoelectrones. El potencial de frenado (V_o) está relacionado con la energía cinética máxima de los fotoelectrones mediante la expresión: $E_{c,\max} = |e|V_o$. Además, de acuerdo con la explicación de Einstein, existe una dependencia lineal entre el potencial de frenado y la frecuencia de la luz incidente: $V_o = \frac{h}{|e|}f - \frac{\phi_o}{|e|}$. La representación gráfica de esta función se muestra en la siguiente figura.

Potencial de frenado



Actividad 5

- [a] Escribe la *ley exponencial de desintegración radiactiva* para núcleos inestables y comenta el significado físico de las magnitudes que aparecen en ella.
- [b] El tiempo de vida media del ^{90}Y es de 92,5 horas. Calcula su periodo de semidesintegración (o semivida). ¿Cuanto tiempo tarda la actividad de una muestra de ^{90}Y en reducirse a la octava parte de la inicial?

Respuesta

[a] Consulta el libro de Física.

[b] El tiempo de vida media (τ) es el inverso de la constante de desintegración (λ), la cual, a su vez, está relacionada con el periodo de semidesintegración ($T_{1/2}$). En resumen, se cumple que: $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{0,693}$; de donde se deduce que:

$$T_{1/2} = 0,693\tau = 0,693 \cdot 92,5(\text{horas}) = 64,1(\text{horas}).$$

La constante de desintegración λ vale: $\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{92,5} = 1,08 \cdot 10^{-2}(\text{horas}^{-1})$. Llevando este resultado a la ecuación fundamental de la desintegración radiactiva, teniendo en cuenta que la actividad se reduce a la octava parte, queda: $\frac{A_o}{8} = A_o e^{-1,08 \cdot 10^{-2}t}$; se simplifica A_o y se toman logaritmos neperianos a ambos lados de la igualdad:

$$\ln\left(\frac{1}{8}\right) = -1,08 \cdot 10^{-2}t; -2,08 = -1,08 \cdot 10^{-2}t; t = 193 \text{ horas.}$$

Actividad 6

- [a] *Dualidad onda-corpúsculo*: escribe la *ecuación de De Broglie* y comenta su significado y su importancia histórica.
- [b] Un protón es acelerado mediante un campo eléctrico, partiendo del reposo, entre dos puntos con una diferencia de potencial de 1000 V. Calcula su energía cinética, su momento lineal y su longitud de onda asociada.
- {DATOS: $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ }

Respuesta

[a] Consulta el libro de Física (incluyendo la página 372).

[b] Imagina que el protón evoluciona entre los puntos A y B de un campo eléctrico. La conservación de la energía mecánica exige que: $eV_A = E_c(B) + eV_B$; $E_c(B) = e(V_A - V_B) = e\Delta V$; $E_c(B) = 1,60 \cdot 10^{-19}(\text{C}) \cdot 10^3(\text{V}) = 1,60 \cdot 10^{-16}(\text{J})$.

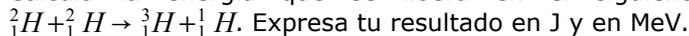
El momento lineal de una partícula es: $p = mv$; la energía cinética de una partícula en función del momento lineal se expresa como sigue: $E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$; de donde se deduce que: $p = \sqrt{2mE_c} = \sqrt{2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}(\text{kg}) \cdot 1,60 \cdot 10^{-16}(\text{J})} = 7,31 \cdot 10^{-22}(\text{kg.m/s})$.

La longitud de onda asociada es: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}(\text{J.s})}{7,31 \cdot 10^{-22}(\text{kg.m/s})} = 9,01 \cdot 10^{-13}(\text{m})$. Esta longitud de onda corresponde a la zona del espectro electromagnético de los rayos gamma.

Actividad 7

[a] Explica brevemente qué es la *fusión nuclear* .

[b] Calcula la energía que se libera en el siguiente proceso de fusión nuclear:



Las masas de los núcleos de hidrógeno, deuterio y tritio son, respectivamente, 1,007825 u, 2,014102 u y 3,016049 u; $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Respuesta

[a] Consulta el libro de Física.

[b] Se calcula, en primer lugar, el defecto de masa de la reacción: $\Delta m = 2m(D) - m(T) - m(H)$; esto es,

$$\Delta m = 2 \cdot 2,014102 - 3,016049 - 1,007825 = 0,004330(u) \cdot \frac{1,66 \cdot 10^{-27}(\text{kg})}{1(u)} = 7,19 \cdot 10^{-30}(\text{kg})$$

La energía que se libera en la reacción vale, entonces,

$$E = \Delta mc^2 = 7,19 \cdot 10^{-30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 6,47 \cdot 10^{-13}(\text{J}); \text{ al multiplicar por el factor de conversión queda: } E = 6,47 \cdot 10^{-13}(\text{J}) \cdot \frac{1(\text{MeV})}{1,6 \cdot 10^{-13}(\text{J})} = 4,04(\text{MeV}).$$

A este resultado también se puede llegar multiplicando directamente el defecto de masa por la equivalencia, a través de la fórmula de Einstein, entre u y MeV:

$$\Delta m = 0,00433(u) \cdot \frac{931(\text{MeV})}{1(u)} = 4,03(\text{MeV}).$$

Actividad 8

[a] Explica qué es y por qué existe la llamada *frecuencia umbral* en el efecto fotoeléctrico.

[b] La frecuencia umbral para el efecto fotoeléctrico en el Cs es $4,84 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. Calcula, en eV, la energía de extracción (o función de trabajo) para este metal. Si se ilumina con luz de 405 nm de longitud de onda, ¿cuál será el potencial de frenado de los electrones arrancados?

{DATOS: $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ }

Respuesta

[a] Consulta el libro de Física. Te resultará sencillo explicar qué es la frecuencia umbral, pero será más difícil justificar el porqué, a no ser que se refiera a que su existencia es un hecho experimental.

[b] Sabemos que la energía de extracción está relacionada con la frecuencia umbral mediante la expresión: $\phi_o = hf_o$. Por lo tanto, $\phi_o = 6,63 \cdot 10^{-34}(\text{J.s}) \cdot 4,84 \cdot 10^{14}(\text{Hz}) = 3,21 \cdot 10^{-19}(\text{J})$; como $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, queda finalmente: $\phi_o = 3,21 \cdot 10^{-19}(\text{J}) \cdot \frac{1(\text{eV})}{1,60 \cdot 10^{-19}(\text{J})} = 2,01(\text{eV})$.

El potencial de frenado está ligado con la frecuencia de la luz incidente y con la energía de extracción mediante la relación: $|e|V_o = hf - \phi_o$. La frecuencia de la luz es:

$$f = \frac{3 \cdot 10^8(\text{m/s})}{4,05 \cdot 10^{-7}(\text{m})} = 7,41 \cdot 10^{14}(\text{Hz}). \text{ Sustituyendo los valores numéricos, queda:}$$

$$1,6 \cdot 10^{-19}(\text{C})V_o = 6,63 \cdot 10^{-34}(\text{J.s}) \cdot 7,41 \cdot 10^{14}(\text{Hz}) - 3,21 \cdot 10^{-19}(\text{J}) = 1,70 \cdot 10^{-19}(\text{J})$$

$$V_o = \frac{1,7 \cdot 10^{-19}(\text{J})}{1,6 \cdot 10^{-19}(\text{C})} = 1,06(\text{V}).$$

Actividad 9

- [a] Explica brevemente qué es la *energía de enlace* en un núcleo atómico. Relaciona este concepto con la producción de energía mediante procesos de fisión o fusión nuclear.
- [b] Cuando un núcleo de Uranio-235 captura un neutrón se fisiona en dos fragmentos, más dos o tres neutrones, y libera unos 210 MeV de energía. La energía de enlace por nucleón de los fragmentos de fisión es, en promedio, de 8,4 MeV. Haz un cálculo aproximado de la energía de enlace por nucleón del ^{235}U , despreciando la contribución de los neutrones producidos.

Respuesta

[a] Consulta el libro de Física.

[b] Si se desprecia la contribución de los neutrones producidos, la fisión del uranio-235 se puede escribir como sigue: $^{235}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^a\text{X} + {}^b\text{Y} + \dots$, con $a + b = 236$. La energía de enlace de los productos de la fisión vale: $236 \cdot 8,4 \text{ (MeV)} = 1,98 \cdot 10^3 \text{ (MeV)}$.

La energía de enlace al formarse los núcleos X e Y es mayor que la energía de enlace del uranio-235, siendo su diferencia la energía liberada en el proceso, así que: $1,98 \cdot 10^3 - E(^{235}\text{U}) = 210$; $E(^{235}\text{U}) = 1,98 \cdot 10^3 - 210 = 1,77 \cdot 10^3 \text{ (MeV)}$; por lo tanto, la energía de enlace por nucleón del uranio-235 es: $\frac{E}{A}(^{235}\text{U}) = \frac{1,77 \cdot 10^3}{235} = 7,53 \left(\frac{\text{MeV}}{\text{nucleón}}\right)$.

Actividad 10

- [a] ¿Qué es la *actividad* (o *velocidad de desintegración*) de una muestra radiactiva?
- [b] El periodo de semidesintegración del ^{60}Co es $T = 5,27$ años. Calcula la actividad radiactiva de una muestra que inicialmente contiene 10^{22} átomos de ^{60}Co . ¿Cuánto tiempo tarda la actividad de esta muestra en reducirse a la octava parte de la inicial?

Respuesta

[a] Véase el libro de Física.

[b] Tras expresar el periodo de semidesintegración en segundos: $T_{1/2} = 6,92 \cdot 10^6 \text{ (s)}$, se calcula la constante de desintegración λ : $\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{6,92 \cdot 10^6 \text{ (s)}} = 10^{-7} \text{ (s}^{-1}\text{)}$. La actividad radiactiva inicial es, entonces, $A_o = \lambda N_o = 10^{-7} \text{ (s}^{-1}\text{)} \cdot 10^{22} \text{ (núcleos)} = 10^{15} \text{ (des/s)} = 2,70 \cdot 10^4 \text{ (Ci)}$.

Por otro lado, sabemos que: $A = A_o e^{-\lambda t}$; $\frac{A_o}{8} = A_o e^{-10^{-7}t}$; al simplificar A_o y tomar logaritmos neperianos se obtiene: $\ln\left(\frac{1}{8}\right) = -10^{-7}t$; $-2,08 = -10^{-7}t$; $t = 2,08 \cdot 10^7 \text{ (s)} = 15,8 \text{ (años)}$.

Actividad 11

- [a] Explica qué es y por qué existe la llamada *frecuencia umbral* en el efecto fotoeléctrico.
- [b] La energía de extracción de electrones (función de trabajo) de la plata es 4,73 eV. Calcula la frecuencia umbral para el efecto fotoeléctrico en este metal. Si se ilumina con luz de 200 nm de longitud de onda, ¿cuál será el potencial de frenado de los electrones arrancados?
{DATOS: $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ }

Respuesta

- [a] Consulta el libro de Física. Te resultará sencillo explicar qué es la frecuencia umbral, pero será más difícil justificar el porqué, a no ser que se refiera a que su existencia es un hecho experimental.
- [b] Sabemos que la energía de extracción está relacionada con la frecuencia umbral mediante la expresión: $\phi_o = hf_o$; por lo que la frecuencia umbral es: $f_o = \frac{\phi_o}{h}$. Por otro lado, como $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, $\phi_o = 4,73(\text{eV}) \cdot \frac{1,60 \cdot 10^{-19}(\text{J})}{1(\text{eV})} = 7,57 \cdot 10^{-19}(\text{J})$; la frecuencia umbral es, entonces, $f_o = \frac{\phi_o}{h} = \frac{7,57 \cdot 10^{-19}(\text{J})}{6,63 \cdot 10^{-34}(\text{J}\cdot\text{s})} = 1,14 \cdot 10^{15}(\text{Hz})$.

El potencial de frenado está ligado con la frecuencia de la luz incidente y con la energía de extracción mediante la relación: $|e|V_o = hf - \phi_o$. La frecuencia de la luz es:

$f = \frac{3 \cdot 10^8(\text{m/s})}{2 \cdot 10^{-7}(\text{m})} = 1,5 \cdot 10^{15}(\text{Hz})$. Se comprueba que este valor es mayor que la frecuencia umbral, como tiene que ser. Sustituyendo los valores numéricos, queda:

$$1,6 \cdot 10^{-19}(\text{C})V_o = 6,63 \cdot 10^{-34}(\text{J}\cdot\text{s}) \cdot 1,5 \cdot 10^{15}(\text{Hz}) - 7,57 \cdot 10^{-19}(\text{J}) = 2,38 \cdot 10^{-19}(\text{J})$$

$$V_o = \frac{2,38 \cdot 10^{-19}(\text{J})}{1,6 \cdot 10^{-19}(\text{C})} = 1,49(\text{V}).$$

Actividad 12

Un núcleo de Torio-232 se desintegra, transformándose en un núcleo de Radio y emitiendo una partícula α .

- [a] Completa la ecuación de desintegración correspondiente a este proceso:
 ${}_{90}^{232}\text{Th} \rightarrow {}_?^{\text{Ra}} + {}_?^{\text{He}}$.
- [b] Calcula la energía, expresada en J y en eV, que se libera en esta desintegración.
{DATOS: las masas atómicas de estos isótopos de Th y Ra y de la partícula α son, respectivamente, 232,038124 u, 228,031139 u y 4,002603 u; $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ }

Respuesta

- [a] Sabiendo que los números másico y atómico del núcleo de helio son 4 y 2, respectivamente, la ecuación de desintegración es: ${}_{90}^{232}\text{Th} \rightarrow {}_{88}^{228}\text{Ra} + {}_2^4\text{He}$.

- [b] El defecto de masa asociado a esta reacción nuclear es:

$$\Delta m = 232,038124 - 228,031139 - 4,002603 = 0,004382(\text{u}) \cdot \frac{1,66 \cdot 10^{-27}(\text{kg})}{1(\text{u})} = 7,27 \cdot 10^{-30}(\text{kg})$$

La energía que se libera en esta reacción es, por lo tanto,

$$E = \Delta mc^2 = 7,27 \cdot 10^{-30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 6,54 \cdot 10^{-13}(\text{J}). \text{ Para expresar esta magnitud en julios se multiplica por el factor de conversión: } E = 6,54 \cdot 10^{-13}(\text{J}) \cdot \frac{1(\text{MeV})}{1,6 \cdot 10^{-13}(\text{J})} = 4,09(\text{MeV}).$$

A este resultado también se puede llegar multiplicando directamente el defecto de masa por la equivalencia, a través de la fórmula de Einstein, entre u y MeV:

$$\Delta m = 0,004382(\text{u}) \cdot \frac{931(\text{MeV})}{1(\text{u})} = 4,08(\text{MeV}).$$

Actividad 13

- [a] Escribe y comenta la *Ley de desintegración exponencial* radiactiva.
[b] Una muestra de ^{222}Rn contiene inicialmente 10^{12} átomos de este isótopo radiactivo, cuya semivida (o periodo de semidesintegración) es de 3,28 días. ¿Cuántos átomos quedan sin desintegrar al cabo de 10 días? Calcula las actividades inicial y final (tras los 10 días) de esta muestra. Expresa tus resultados en Bq.

Respuesta

[a] Véase el libro de Física.

- [b] El enunciado del ejercicio suministra los siguientes datos: $N_o = 10^{12}$ (átomos) y $T_{1/2} = 3,28$ (días). Se calcula, en primer lugar, la constante de desintegración:
 $\lambda = \frac{0,693}{3,28} = 0,211$ (días $^{-1}$). Por otro lado, el número de átomos que quedan sin desintegrar al cabo de un tiempo t está dado por: $N = N_o e^{-\lambda t}$, así que la respuesta es:
 $N = 10^{12} e^{-0,211 \cdot 10} = 10^{12} e^{-2,11} = 1,21 \cdot 10^{11}$ (átomos).

Para expresa la actividad en Bq, la constante de desintegración debe medir en segundos:

$$\lambda = 0,211 \left(\frac{1}{\text{día}} \right) \cdot \frac{1(\text{día})}{86400(\text{s})} = 2,44 \cdot 10^{-6} (\text{s}^{-1}).$$

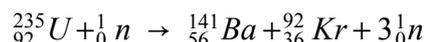
La actividad inicial es: $A_o = \lambda N_o = 2,44 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{\text{s}} \right) \cdot 10^{12}$ (átomos) = $2,44 \cdot 10^6$ (Bq).

La actividad final es: $A = \lambda N = 2,44 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{\text{s}} \right) \cdot 1,21 \cdot 10^{11}$ (átomos) = $0,295 \cdot 10^6$ (Bq).

Se observa que, después de 10 días, la velocidad de desintegración o actividad ha disminuido en un factor mayor que 8 ($2,44/0,295$).

Actividad 14

- [a] Explica en qué consiste la *fisión nuclear*.
[b] Tras capturar un neutrón térmico, un núcleo de Uranio-235 se fisiona en la forma:



Calcula la energía liberada en este proceso. Expresa tu resultado en J y en MeV.
{DATOS: Masas atómicas: $m_U = 235,0439$ u; $m_{Ba} = 140,9140$ u; $m_{Kr} = 91,9250$ u; $m_n = 1,0087$ u. 1 u = $1,66 \cdot 10^{-27}$ kg; $c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s; $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ C}

Respuesta

[a] Véase el libro de Física.

- [b] El defecto de masa asociado a esta reacción nuclear es:
 $\Delta m = 235,0439 - 140,9140 - 91,9250 - 2 \cdot 1,0087 = 0,1875$ (u). Expresado en kg, el defecto de masa resulta ser: $\Delta m = 0,1875$ (u) $\frac{1,66 \cdot 10^{-27}(\text{kg})}{1(\text{u})} = 3,113 \cdot 10^{-28}$ (kg).
La energía que se libera en esta reacción es, por lo tanto,
 $E = \Delta m c^2 = 3,113 \cdot 10^{-28} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 2,802 \cdot 10^{-11}$ (J). Para expresar esta magnitud en J se multiplica por el factor de conversión: $E = 2,802 \cdot 10^{-11}$ (J) $\cdot \frac{1(\text{MeV})}{1,6 \cdot 10^{-13}(\text{J})} = 175,1$ (MeV).

A este resultado también se puede llegar multiplicando directamente el defecto de masa por la equivalencia, a través de la fórmula de Einstein, entre u y MeV:

$$\Delta m = 0,1875(\text{u}) \cdot \frac{931(\text{MeV})}{1(\text{u})} = 174,6(\text{MeV}).$$

Actividad 15

Cuando se bombardea un blanco de ${}^7_3\text{Li}$ con protones rápidos se produce ${}^7_4\text{Be}$ más una partícula ligera.

- [a] Escribe la ecuación de esta reacción nuclear e identifica razonadamente la partícula ligera.
[b] Calcula la mínima energía cinética que deben tener los protones para que pueda producirse esta reacción. Expresa tu resultado en MeV y en J.
{DATOS: Masas atómicas: $m({}^7_3\text{Li}) = 7,016004 u$, $m({}^7_4\text{Be}) = 7,016929 u$; $m(n) = 1,008665 u$, $m(p) = 1,007276 u$. $1 u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$; $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ }

Respuesta

- [a] La reacción nuclear que tiene lugar es: ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^7_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$, ya que se debe conservar en la reacción tanto el número másico como el número atómico.
- [b] Si calculamos el defecto de masa, se obtiene un número negativo ($\Delta m = -0,002314(u)$); esto significa que los productos de la reacción tienen menos masa (o energía) que los núcleos que reaccionan. Por lo tanto, la energía que falta debe ser suministrada por la energía cinética de los protones rápidos: $E_c(p) = 0,002314(u) \cdot c^2 \cdot \frac{931,5(\text{MeV})}{c^2} = 2,155491(\text{MeV})$.

Expresada en J, esta energía cinética resulta ser:

$$E_c(p) = 2,155471(\text{MeV}) \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-13}(\text{J})}{1(\text{MeV})} = 3,453 \cdot 10^{-19}(\text{J}).$$

Estos son valores mínimos de la energía cinética, pues la reacción nuclear también se produciría si los protones rápidos fueran más energéticos.

Actividad 16

El año 2005 ha sido declarado por la UNESCO **Año Mundial de la Física**, conmemorando el centenario de la publicación por A. Einstein de una serie de trabajos revolucionarios. Uno de ellos estuvo dedicado a la explicación del *efecto fotoeléctrico*, por el que Einstein recibió el Premio Nobel de Física en 1921.

- [a] Explica brevemente en qué consiste el *efecto fotoeléctrico*. ¿Qué es el potencial de frenado (o de corte)? ¿Cómo depende este potencial de la frecuencia de la luz incidente?
[b] La energía de extracción (o función de trabajo) del aluminio es $\phi_o = 4,08(\text{eV})$. Calcula el potencial de frenado de los fotoelectrones si se ilumina con luz de longitud de onda $\lambda = 250(\text{nm})$.
{DATOS: $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ }

Respuesta

- [a] Consulta el libro de Física.
- [b] El potencial de frenado está ligado con la frecuencia de la luz incidente y con la energía de extracción mediante la relación: $|e|V_o = hf - \phi_o$.
La frecuencia de la luz es: $f = \frac{3 \cdot 10^8(\text{m/s})}{2,5 \cdot 10^{-7}(\text{m})} = 1,2 \cdot 10^{15}(\text{Hz})$. Por otro lado, como $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$, $\phi_o = 4,08(\text{eV}) \cdot \frac{1,60 \cdot 10^{-19}(\text{J})}{1(\text{eV})} = 6,53 \cdot 10^{-19}(\text{J})$. Sustituyendo los valores numéricos, queda:
 $1,6 \cdot 10^{-19}(\text{C})V_o = 6,63 \cdot 10^{-34}(\text{J}\cdot\text{s}) \cdot 1,2 \cdot 10^{15}(\text{Hz}) - 6,53 \cdot 10^{-19}(\text{J}) = 1,43 \cdot 10^{-19}(\text{J})$

$$V_o = \frac{1,43 \cdot 10^{-19}(\text{J})}{1,6 \cdot 10^{-19}(\text{C})} = 0,894(\text{V}).$$

Actividad 17

El ^{14}C es un isótopo del carbono emisor β^- , con una vida media $\tau = 5,73 \cdot 10^3$ (años). Como sabrás, la actividad de este isótopo en una muestra orgánica suele emplearse para su datación arqueológica.

- [a] Completa la ecuación de desintegración del ^{14}C : $^{14}\text{C} \rightarrow \text{?}^{14}\text{N} + \text{?}$.
- [b] ¿Cuánto tiempo tarda la actividad de una muestra con ^{14}C en reducirse a la mitad de la inicial?
- [c] La actividad de un hueso prehistórico es 16 veces inferior a la de un hueso moderno de igual masa. Calcula su antigüedad.

Respuesta

[a] En la reacción nuclear se emite una partícula β , por lo que: $^{14}\text{C} \rightarrow \text{?}^{14}\text{N} + \text{?}$.

[b] La actividad radiactiva, en función del tiempo, se expresa mediante: $A = A_0 e^{-\lambda t}$, donde λ es la constante de desintegración, de valor $\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{5,73 \cdot 10^3} = 1,75 \cdot 10^{-4}$ (años $^{-1}$). Como $A = \frac{A_0}{16}$, se puede escribir, tras simplificar A_0 , $\frac{1}{16} = e^{-1,75 \cdot 10^{-4} t}$. Se toman logaritmos neperianos a los dos miembros y queda: $\ln\left(\frac{1}{16}\right) = -1,75 \cdot 10^{-4} t$; $-2,77 = -1,75 \cdot 10^{-4} t$; la antigüedad del hueso prehistórico es: $t = 1,58 \cdot 10^4$ años.

Actividad 18

- [a] Escribe la ecuación de De Broglie. Comenta su significado y su importancia física.
- [b] Un electrón que parte del reposo es acelerado mediante un campo eléctrico entre dos puntos con una diferencia de potencial $\Delta V = 2000$ V. Calcula el momento lineal final del electrón y su longitud de onda asociada.
{DATOS: $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg; $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js}

Respuesta

[a] Consulta el libro de Física (incluyendo la página 372).

[b] Imagina que el electrón evoluciona entre los puntos A y B de un campo eléctrico. La conservación de la energía mecánica exige que: $eV_A = E_c(B) + eV_B$; $E_c(B) = e(V_A - V_B) = |e|V_{BA}$; $E_c(B) = 1,60 \cdot 10^{-19}$ (C) $\cdot 2 \cdot 10^3$ (V) = $3,20 \cdot 10^{-16}$ (J).

El momento lineal de una partícula es: $p = mv$; la energía cinética de una partícula en función del momento lineal se expresa como sigue: $E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$; de donde se deduce que: $p = \sqrt{2mE_c} = \sqrt{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}$ (kg) $\cdot 3,20 \cdot 10^{-16}$ (J) = $2,41 \cdot 10^{-23}$ (kg.m/s)-

La longitud de onda asociada es: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}$ (J.s) $\cdot 2,41 \cdot 10^{-23}$ (kg.m/s) = $2,75 \cdot 10^{-11}$ (m). Esta longitud de onda corresponde a la zona del espectro electromagnético de los rayos gamma.

Actividad 19

- [a] Explica qué es la *fusión nuclear*. ¿Cuál es la diferencia básica entre *fusión* y *fisión* nuclear?
- [b] Considera la reacción de fusión: ${}^2\text{H} + {}^2\text{H} \rightarrow {}^3\text{H} + {}^1_0\text{n} + 3,27\text{MeV}$.
Calcula la energía que podría obtenerse a partir de un gramo de deuterio mediante esta reacción. Expresa tu resultado en J.
{DATOS: Masa atómica del ${}^2\text{H} = 2,0141\text{ u}$; $1\text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$ }

Respuesta

- [a] Consulta el libro de Física.
- [b] De acuerdo con la reacción nuclear, 4,0282 u de deuterio producen 3,27 MeV de energía. Esta energía, expresada en J, es: $3,27(\text{MeV}) \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-13}(\text{J})}{1(\text{MeV})} = 5,23 \cdot 10^{-13}(\text{J})$.
La masa de deuterio, en gramos, es $4,0282(\text{u}) \cdot \frac{1,66 \cdot 10^{-24}(\text{g})}{1(\text{u})} = 6,69 \cdot 10^{-24}(\text{g})$.
- Finalmente, se puede establecer la siguiente proporción: $\frac{E}{1(\text{g})} = \frac{5,23 \cdot 10^{-13}(\text{J})}{6,69 \cdot 10^{-24}(\text{g})}$; de donde se deduce que $E = 7,82 \cdot 10^{10}(\text{J})$.

Actividad 20

- [a] Defina las siguientes magnitudes asociadas a los procesos de desintegración radiactiva: actividad radiactiva (A), periodo de semidesintegración (T) y vida media (τ).
- [b] Se tiene un mol de ${}^{214}\text{Pb}$, isótopo radiactivo cuyo periodo de semidesintegración es de 27 minutos. ¿Al cabo de cuánto tiempo quedará sólo el 10% del material inicial? ¿Qué actividad A tiene la muestra en ese momento?

Respuesta

- [a] Consulta el libro de Física.
- [b] De la lectura comprensiva del enunciado se deduce que $N_0 = 6,02 \cdot 10^{23}$ núcleos y que $T_{1/2} = 27\text{ min} = 1620\text{ s}$.
Se calcula, en primer lugar, la constante de desintegración: $\lambda = \frac{0,693}{1620} = 4,28 \cdot 10^{-4}(\text{s}^{-1})$. Por otro lado, el número de núcleos que quedan sin desintegrar al cabo de un tiempo t está dado por: $N = N_0 e^{-\lambda t}$; como $N = \frac{N_0}{10}$, después de simplificar N_0 , queda: $\frac{1}{10} = e^{-4,28 \cdot 10^{-4} t}$.
Al aplicar logaritmos neperianos a los dos miembros de la igualdad se obtiene: $\ln\left(\frac{1}{10}\right) = -4,28 \cdot 10^{-4} t$; $-2,30 = -4,28 \cdot 10^{-4} t$; $t = 5,37 \cdot 10^3(\text{s}) = 89,5(\text{min})$.
- La actividad radiactiva se calcula mediante: $A = \lambda N$, así que $A = 4,28 \cdot 10^{-4}(\frac{1}{\text{s}}) \cdot 6,02 \cdot 10^{22}(\text{núcleos}) = 2,58 \cdot 10^{19}(\frac{\text{des}}{\text{s}}) = 696(\text{Ci})$.

Actividad 21

Hasta principios del siglo XX la radiación de un *cuerpo negro* no fue explicada.

- [a] Explica qué es un *cuerpo negro* y en qué consistía la llamada *catástrofe del ultravioleta*.
[b] ¿Qué hipótesis planteó Planck para resolverla?

Respuesta

- [a] Consulta el libro de Física; en particular, las leyes de Wien y de Stefan-Boltzmann.
[b] Consulta el libro de Física.

Actividad 22

- [a] Explica en qué consiste el efecto fotoeléctrico. ¿Qué es y por qué existe la frecuencia umbral?
[b] Si iluminamos la superficie de un metal con luz de $\lambda = 512$ nm la energía cinética máxima de los electrones emitidos es de $8,60 \cdot 10^{-20}$ J. Determina la frecuencia umbral del metal. ¿Con luz de qué frecuencia deberemos incidir sobre el metal para que emita electrones de energía máxima $6,40 \cdot 10^{-20}$ J?
{DATOS: $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$; $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ }

Respuesta

- [a] Consulta el libro de Física.

- [b] Se sabe que la energía cinética máxima está ligada con el trabajo de extracción mediante la relación: $E_{c,\max} = hf - \phi_o$, de donde se puede obtener el valor del trabajo de extracción:
 $\phi_o = hf - E_{c,\max} = 6,63 \cdot 10^{-34}(\text{Js}) \cdot \frac{3 \cdot 10^8(\text{m/s})}{5,12 \cdot 10^{-7}(\text{m})} - 8,6 \cdot 10^{-20}(\text{J}) = 3,02 \cdot 10^{-19}(\text{J})$. La frecuencia umbral es, entonces, $f_o = \frac{\phi_o}{h} = \frac{3,02 \cdot 10^{-19}(\text{J})}{6,63 \cdot 10^{-34}(\text{Js})} = 4,56 \cdot 10^{14}(\text{Hz})$.

Para contestar a la segunda pregunta utilizamos la misma expresión, escrita de forma conveniente: $f = \frac{E_{c,\max} + \phi_o}{h} = \frac{6,4 \cdot 10^{-20}(\text{J}) + 3,02 \cdot 10^{-19}(\text{J})}{6,63 \cdot 10^{-34}(\text{Js})} = \frac{3,66 \cdot 10^{-19}(\text{J})}{6,63 \cdot 10^{-34}(\text{Js})} = 5,52 \cdot 10^{14}(\text{Hz})$. Se obtiene una frecuencia mayor que la frecuencia umbral, como tiene que ser. Además, se observa que esta frecuencia es inferior a la de la luz inicial ($5,86 \cdot 10^{14}$ Hz), así que producen fotoelectrones menos energéticos ($6,4 \cdot 10^{-20}$ J frente a $8,6 \cdot 10^{-20}$ J).

Actividad 22

- [a] Explica en qué consiste el efecto fotoeléctrico. ¿Qué es y por qué existe la frecuencia umbral?
[b] Si iluminamos la superficie de un metal con luz de $\lambda = 512$ nm la energía cinética máxima de los electrones emitidos es de $8,60 \cdot 10^{-20}$ J. Determina la frecuencia umbral del metal. ¿Con luz de qué frecuencia deberemos incidir sobre el metal para que emita electrones de energía máxima $6,40 \cdot 10^{-20}$ J?
{DATOS: $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$; $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ }

Respuesta

- [a] Consulta el libro de Física.

- [b] Se sabe que la energía cinética máxima está ligada con el trabajo de extracción mediante la relación: $E_{c,\max} = hf - \phi_o$, de donde se puede obtener el valor del trabajo de extracción:
 $\phi_o = hf - E_{c,\max} = 6,63 \cdot 10^{-34}(\text{Js}) \cdot \frac{3 \cdot 10^8(\text{m/s})}{5,12 \cdot 10^{-7}(\text{m})} - 8,6 \cdot 10^{-20}(\text{J}) = 3,02 \cdot 10^{-19}(\text{J})$. La frecuencia umbral es, entonces, $f_o = \frac{\phi_o}{h} = \frac{3,02 \cdot 10^{-19}(\text{J})}{6,63 \cdot 10^{-34}(\text{Js})} = 4,56 \cdot 10^{14}(\text{Hz})$.

Para contestar a la segunda pregunta utilizamos la misma expresión, escrita de forma conveniente: $f = \frac{E_{c,\max} + \phi_o}{h} = \frac{6,4 \cdot 10^{-20}(\text{J}) + 3,02 \cdot 10^{-19}(\text{J})}{6,63 \cdot 10^{-34}(\text{Js})} = \frac{3,66 \cdot 10^{-19}(\text{J})}{6,63 \cdot 10^{-34}(\text{Js})} = 5,52 \cdot 10^{14}(\text{Hz})$. Se obtiene una frecuencia mayor que la frecuencia umbral, como tiene que ser. Además, se observa que esta frecuencia es inferior a la de la luz inicial ($5,86 \cdot 10^{14}$ Hz), así que producen fotoelectrones menos energéticos ($6,4 \cdot 10^{-20}$ J frente a $8,6 \cdot 10^{-20}$ J).

Actividad 23

- [a] Escribe la ecuación de *De Broglie*. Comenta su significado físico.
- [b] Un electrón, que parte del reposo, es acelerado mediante un campo eléctrico entre dos puntos con una diferencia de potencial $\Delta V = 1800 \text{ V}$. Calcula el momento lineal final del electrón y su longitud de onda asociada.
- {DATOS: $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ }

Respuesta

[a] Consulta el libro de Física.

- [b] Imagina que el electrón evoluciona entre los puntos A y B de un campo eléctrico. La conservación de la energía mecánica exige que: $eV_A = E_c(B) + eV_B$; $E_c(B) = e(V_A - V_B) = |e|V_{BA}$; $E_c(B) = 1,60 \cdot 10^{-19}(\text{C}) \cdot 1,8 \cdot 10^3(\text{V}) = 2,88 \cdot 10^{-16}(\text{J})$.

El momento lineal de una partícula es: $p = mv$; la energía cinética de una partícula en función del momento lineal se expresa como sigue: $E_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$; de donde se deduce que: $p = \sqrt{2mE_c} = \sqrt{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}(\text{kg}) \cdot 2,88 \cdot 10^{-16}(\text{J})} = 2,29 \cdot 10^{-23}(\text{kg.m/s})$

La longitud de onda asociada es: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}(\text{J.s})}{2,29 \cdot 10^{-23}(\text{kg.m/s})} = 2,90 \cdot 10^{-11}(\text{m})$. Esta longitud de onda corresponde a la zona del espectro electromagnético de los rayos gamma.

Actividad 24

- [a] Escribe y comenta la *Ley de desintegración exponencial radiactiva*.
- [b] Una muestra de ^{222}Rn que contiene inicialmente 10^{18} átomos de este isótopo radiactivo, presenta una velocidad de desintegración (o actividad) inicial $A_0 = 2,10 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$. Calcula la semivida (o periodo de semidesintegración) del ^{222}Rn . ¿Cuántos átomos quedan sin desintegrar al cabo de 10 días?

Respuesta

[a] Véase el libro de Física.

- [b] El enunciado del ejercicio suministra los siguientes datos: $N_0 = 10^{18}(\text{átomos})$ y $A_0 = \lambda N_0 = 2,10 \cdot 10^{12}(\text{Bq})$. Se calcula, en primer lugar, la constante de desintegración: $\lambda = \frac{A_0}{N_0} = \frac{2,10 \cdot 10^{12}}{10^{18}} = 2,10 \cdot 10^{-6}(\text{s}^{-1})$. El periodo de semidesintegración es, entonces, $T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} = \frac{0,693}{2,10 \cdot 10^{-6}} = 3,3 \cdot 10^5(\text{s})$.

Por otro lado, el número de átomos que quedan sin desintegrar al cabo de un tiempo t está dado por: $N = N_0 e^{-\lambda t}$, así que la respuesta es:

$$N = 10^{18} e^{-0,0000021 \cdot 864000} = 10^{18} e^{-1,81} = 1,64 \cdot 10^{17}(\text{átomos}).$$