

# Física

Unidad didáctica 12

**Física nuclear**

## SOLUCIONARIO DEL LIBRO DE FÍSICA DE 21 DE BACHILLERATO

### Unidad didáctica 12: Física nuclear

#### Cuestiones iniciales

**1. ¿Cuál es la razón de que en el primer cuarto del siglo XX se descubriesen tantos elementos químicos?**

Por la aplicación de las técnicas derivadas del descubrimiento de la radiactividad a la Química, pues los recientes elementos químicos son radiactivos.

**2. Calcula, mediante la ecuación de Einstein, la energía que se produce al transformarse 1 g de materia en energía.**

Aplicando la citada ecuación:  $E_R = m_0 \cdot c^2 = 10^{-3} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 9 \cdot 10^{13} \text{ J}$

**3. La noche del 25 al 26 de abril de 1986 se produjo el mayor accidente ocurrido en una central nuclear. Tuvo lugar en la central ucraniana de Chernobil (antigua URSS). ¿Crees que una central nuclear, dedicada a la producción de energía eléctrica, puede explotar como una bomba atómica? Aunque en la actualidad la probabilidad del riesgo de un accidente nuclear es muy reducido, ¿por qué la sociedad acepta muy mal el riesgo nuclear, a pesar de ser muy inferior al de otros tipos de accidentes (automóvil, avión, etc)?**

En cuanto a la primera pregunta: nunca podría estallar una central nuclear como una bomba atómica, pues las condiciones de trabajo en el reactor nuclear nunca son las que se precisan para ocasionar la explosión nuclear de una bomba.

Con respecto a la segunda cuestión: la respuesta es por los efectos devastadores derivados del uso militar en la fabricación de bombas nucleares y el triste recuerdo y los efectos que aún perduran del desastre de la central nuclear de Chernobil de 1986. Por otro lado, el recuerdo y la visión de películas sobre los efectos de las bombas de Hiroshima y Nagasaki han producido una memoria colectiva de rechazo. Sin perder de vista los efectos fisiológicos, tales como la aparición de cáncer, que el contacto con productos radiactivos puede ocasionar. Todo ello se traduce en gran miedo a todo lo que se relacione con la radiactividad.

#### INVESTIGA

**1. A partir de la lectura del texto anterior explica el significado de los términos: agente moderador, absorbente y refrigerante.**

Agente moderador es aquel que frena los neutrones rápidos producidos en una fisión nuclear para hacerlos aptos para que se puedan emplear con reactivos en otras fisiones nucleares.

Absorbente es aquel material que captura neutrones sobrantes para que el número existente de los mismos en el reactor nuclear sea el adecuado para mantener una reacción en cadena automantenida y controlada.

**2. Consulta una hemeroteca o en el buscador [www.google.es](http://www.google.es) y da una explicación de cuáles son las causas del debate que hay en los primeros años del siglo XXI sobre la vuelta o no al uso de la energía nuclear para producir energía eléctrica.**

La causa es la amenaza de la carestía del petróleo como fuente energética primordial de la sociedad actual.

La disminución de las reservas de petróleo de fácil acceso por el consumo efectuado durante tantos años hace que las prospecciones y extracciones futuras sean cada vez más costosas de realizar y ello se complica con el gran aumento de la demanda del petróleo por los países emergentes, como China y La India, lo que hace que la demanda de petróleo sea muy grande, incluso puede llegar a ser superior a la de la capacidad de extracción y de abastecimiento de una forma eficaz. Todo ello, aparte de los problemas especulativos, hace que el precio del petróleo se haya disparado, por lo que se ha reabierto el debate por la utilización de la energía nuclear como fuente energética para la producción de energía eléctrica, para así tratar de diversificar la oferta energética y contrarrestar los problemas que ocasiona un petróleo muy caro.

**3. Igualmente busca información en los medios anteriores sobre el desastre de la central de Chernobil de 1986 y explica cuál fue la causa de dicho desastre.**

En la madrugada del 26 de abril de 1986, una explosión en el cuarto reactor de la planta de Chernobil, depositó en los alrededores de la central isótopos radiactivos con una actividad de  $380 \text{ A } 10^{12} \text{ Bq}$  y esparció una radiactividad al medio ambiente 200 veces mayor que la liberada por las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki.

La central de Chernobil estaba formada por cuatro reactores. El número cuatro es el tristemente famoso por el accidente, fue puesto en funcionamiento en diciembre de 1983 y es un reactor de tipo RBMK de 3200 MW de potencia térmica y 1000 MW de potencia eléctrica, que usa agua en ebullición como refrigerante y grafito como moderador, que se dispone en bloques con canales donde van alojadas las vainas de combustible, circulando el refrigerante entre vainas y grafito.

El moderador convierte los neutrones rápidos producidos en las reacciones de fisión en neutrones térmicos, que son los que absorbe el uranio-235 para seguir produciendo más fisiones. Por tanto, el papel del moderador es aumentar la cantidad de neutrones que son capaces de producir nuevas fisiones, y aparecen como tales en el grafito y deben atravesar la película de agua de refrigerante para entrar en el combustible. El refrigerante en este caso también actúa de absorbente de neutrones térmicos, por lo que si por alguna causa el refrigerante dejara de fluir entre el grafito y las vainas del combustible, se estaría quitando un blindaje neutrónico entre el grafito y el combustible, aumentando la reactividad del proceso.

Curiosamente el accidente se produjo al realizar un experimento relacionado con la seguridad, en el que se pretendía demostrar que la electricidad producida por el alternador a partir de la inercia de la turbina sin vapor podría usarse para alimentar ciertos componentes del sistema de refrigeración de emergencia.

Se preveía experimentar con una reducción de la potencia del reactor hasta 1000 MW

térmicos, pero el reactor no pudo estabilizarse con suficiente rapidez y la potencia se redujo hasta 30 MW térmicos. Se acumuló una gran cantidad de energía súbita, que no pudo ser refrigerada, por lo que se produjo una disgregación del combustible seguida de una explosión por efecto de la onda de choque por la presión acumulada. Dos o tres segundos después ocurrió una segunda explosión, causada probablemente por la liberación de gas hidrógeno por la oxidación del metal de las vainas de combustible por el vapor sobrepresionado. La violencia de la explosión elevó la losa soporte del reactor, de dos toneladas, haciendo inoperativo el sistema de contención. La posterior entrada de aire facilitó la combustión del grafito, alcanzándose la fusión de la vasija. Fue por tanto, el tipo de accidente más grave que puede ocurrir en una central nuclear y la misma permanecerá radiactiva como mínimo los próximos 100.000 años.

Fueron necesarios nueve días de heroico esfuerzo para poder controlar el incendio posterior a la explosión del reactor. Para controlar el fuego y contener la radiactividad, los helicópteros lanzaron sobre el reactor más de 5000 toneladas de plomo, boro y otros materiales. Posteriormente se construyó un gigantesco sarcófago o bunker de protección, que se terminó de construir en noviembre de 1986, y fue hecho con 410.000 m<sup>3</sup> de hormigón y 7.000 toneladas de acero.

Un auténtico ejército de militares, obreros, ingenieros y especialistas de toda la URSS, llamados liquidadores, fueron movilizados a la zona del siniestro para las tareas de descontaminación y construcción del sarcófago. El trabajo de estas personas salvó al planeta de un enorme y letal foco radiactivo, pero con el tiempo transcurrido, parte de ellos han muerto directamente por causa de la radiactividad, otros muchos han quedado inválidos y el resto necesitan de una constante atención médica, pues recibieron una radiactividad media entre 250 y 500 mSv.

El resumen de víctimas iniciales según Naciones Unidas fue el siguiente: 2 murieron en el momento del accidente y se diagnosticaron 237 personas con signos de síndrome de radiación aguda (náuseas, vómitos, diarreas o procesos hemorrágicos). De ellas 28 murieron días o semanas después, aunque con el paso del tiempo, son muchas más el número de personas de este colectivo que ya han muerto.

Por efecto de la explosión, al menos 9 millones de personas resultaron contaminadas en mayor o menor grado por la nube radiactiva ocasionada. La catástrofe dejó contaminado 156000 km<sup>2</sup> de territorio ucraniano, bielorruso y ruso, con centenares de miles de personas que tuvieron que ser evacuadas de las zonas de mayor peligro. La radiactividad contaminó el río Pripyat y las balsas y pequeños embalses construidos para retener las aguas contaminadas agravaron el problema, pues fueron rebasadas al caer las primeras lluvias intensas. El agua contaminada por los residuos radiactivos afecta a 9 millones de personas que beben agua contaminada y 23 millones comen alimentos regados con aguas radiactivas o peces con niveles inaceptables de radiactividad.

Una consecuencia de la catástrofe fue la absorción, por el organismo de miles de personas, de grandes cantidades de yodo-131. Dicho isótopo, aunque tiene una vida media corta, se acumula en la glándula tiroides, causando hipertiroidismo y cáncer, sobre todo en los niños. Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) en 1995 el cáncer de tiroides en Bielorrusia era 285 veces más frecuente que antes de la catástrofe, y las enfermedades de todo tipo en Ucrania son un 30 % superior a lo normal, por el debilitamiento del sistema inmunológico causado por la radiación.

Los demás reactores (del mismo tipo) de la central siguieron funcionando por la crisis económica que sufre Ucrania desde la desmembración de la URSS. Cerca de 12.000 personas trabajan en la zona contaminada y de ellas 5000 en el complejo nuclear han seguido recibiendo dosis inadmisibles de radiactividad. El 11 de octubre de 1991 se

cerró el reactor número dos por causa de un incendio y el 31 de noviembre de 1996 el número uno, tras graves deficiencias en su sistema de refrigeración. El sarcófago, diseñado en teoría para aguantar 30 años necesita ser sustituido con urgencia, al tener 200 m<sup>2</sup> de grietas y graves problemas de estructura. El reactor número tres ha tenido varios incendios y aunque su estructura estaba afectada por la corrosión ha estado funcionando hasta el 15 de diciembre de 2000, fecha en la que Ucrania logró la financiación económica oportuna para la construcción de un segundo sarcófago y el abastecimiento energético del país.

La catástrofe de Chernobil ha marcado un antes y un después de la energía nuclear, la cual se encuentra sumida en una profunda crisis. La energía nuclear representa un porcentaje cada vez menor en el consumo mundial de energía, agobiada por los problemas de seguridad y el almacenamiento definitivo de los residuos radiactivos. Alternativas mejores como las centrales de gas de ciclo combinado, el uso de las energías renovables y la oposición de la opinión pública bien informada hace que la energía nuclear no tenga un futuro halagüeño.

**Se adjunta a continuación las siguientes tablas con equivalencia de unidades y valores de constantes físicas para poder resolver los ejercicios siguientes.**

#### **Diversas unidades prácticas y su equivalencia en unidades del S.I.**

<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Equivalencia</b>
distancia	unidad astronómica	U.A.	$1,5 \times 10^{11} \text{ m}$
	año-luz	a.l.	$9,5 \times 10^{15} \text{ m}$
	pársec		$3,1 \times 10^{16} \text{ m}$
volumen	Litro	L	$10^{-3} \text{ m}^3$
masa	Tonelada	t	$10^3 \text{ kg}$
	unidad de masa atómica	u	$1,6606 \times 10^{-27} \text{ kg}$
densidad	gramo/centímetro cúbico	$\text{g/cm}^3$	$10^{-3} \text{ kgAm}^{-3}$
fuerza	Kilopondio	Kp	9,8 N
energía	Kilowatio-hora	kWh	$3,6 \times 10^6 \text{ J}$
	electronvoltio	eV	$1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
	caloría	cal	4,184 J
	atmósfera A litro	atm A L	$1,013 \times 10^2 \text{ J}$
potencia	caballo de vapor	CV	$7,355 \times 10^2 \text{ W}$
presión	Atmósfera	atm	$1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$
	Bar	bar	$10^5 \text{ Pa}$
campo magnético	Gauss	G	$10^{-4} \text{ T}$
actividad radiactiva	Curio	Ci	$3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
dosis de radiación	Rad	Rad	$10^{-2} \text{ Gy}$
dosis efectiva	Rem	Rem	$10^{-2} \text{ Sv}$

#### **Principales constantes físicas**

<b>Magnitud</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor en el SI</b>
-----------------	----------------	-----------------------

Aceleración de la gravedad en la superficie terrestre al nivel del mar	$g_0$	$9,8 \text{ m As}^{-2} = 9,8 \text{ NwAkg}^{-1}$
Constante de gravitación universal	$G$	$6,672 \text{ A}10^{-11} \text{ NAm}^2 \text{ Akg}^{-2}$
Constante de Coulomb (en el vacío)	$K_0$	$9 \text{ A}10^9 \text{ NAM}^2 \text{ AC}^{-2}$
Permitividad del vacío	$\epsilon_0$	$8,854 \text{ A}10^{-12} \text{ C}^2 \text{ AN}^{-1} \text{ Am}^{-2}$
Permeabilidad del vacío	$\mu_0$	$4\pi \text{ A}10^{-7} \text{ N AA}^{-2}$
Constante de Planck	$h$	$6,626 \text{ A}10^{-34} \text{ JAs}$
Velocidad de la luz en el vacío	$c$	$2,998 \text{ A}10^8 \text{ mAs}^{-1}$
Velocidad de propagación del sonido en el aire a 20 °C	$v_{\text{sonido}}$	$340 \text{ mAs}^{-1}$
Carga eléctrica elemental	$e$	$1,602 \text{ A}10^{-19} \text{ C}$
Masa del electron	$m_e$	$9,109 \text{ A}10^{-31} \text{ kg} = 5,49 \text{ A}10^{-4} \text{ u}$
Masa del proton	$m_p$	$1,673 \text{ A}10^{-27} \text{ kg} = 1,0073 \text{ u}$
Masa del neutron	$m_n$	$1,675 \text{ A}10^{-27} \text{ kg} = 1,0087 \text{ u}$
Factor conversión masa-energía		$u = 931,5 \text{ MeVAc}^2$
Constante de Avogadro	$N_A$	$6,02 \text{ A}10^{23} \text{ partículasAmol}^{-1}$
Constante de Rydberg	$R$	$1,097 \text{ A}10^7 \text{ m}^{-1}$
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma$	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
Radio de la Tierra	$R_T$	$6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$
Cero en la escala Celsius de temperatura	$0 \text{ EC}$	$273,16 \text{ K}$

## Actividades finales

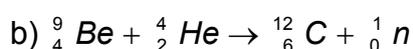
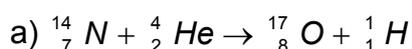
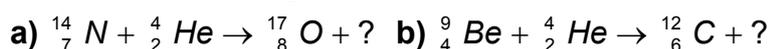
**1. Un protón incide sobre litio y produce partículas alfa. Escribe la reacción nuclear que tiene lugar y determina en número atómico del litio y de qué isótopo de trata.**

El litio tiene de número atómico  $Z = 3$ , por lo que en la reacción nuclear se producen dos partículas  $\alpha$ .

La reacción nuclear es:  ${}^?_3 \text{Li} + {}^1_1 \text{H} \rightarrow 2 {}^4_2 \text{He}$

Por lo que el isótopo de litio es el de número másico:  $A = 2 \cdot 4 - 1 = 7$

**2. Completa las siguientes ecuaciones:**



**3. Desde el punto de vista de la equivalencia masa-energía, ¿la masa de los núcleos estables es mayor o menor que la suma de las masas de sus componentes? Razona la respuesta.**

La masa de los núcleos estables es menor que la suma de las masas de sus constituyentes.

**4. En una cámara de seguridad se encierra una muestra de  ${}^{238}_{92}\text{U}$ , de 0,15 kg de masa. El  ${}^{238}\text{U}$  se desintegra de modo natural, produciendo  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ , y para simplificar se supone que este proceso tiene lugar directamente sin etapas intermedias. Al cabo de cierto tiempo, se abre la cámara, comprobando que la muestra original contiene ahora 0,04 kg de  ${}^{206}\text{Pb}$ . Se sabe que el período de semidesintegración del  ${}^{238}\text{U}$  es de  $4,5 \cdot 10^9$  años. Calcula el tiempo transcurrido desde que se guardó la muestra hasta la apertura de la cámara.**

Hay que recordar que un mol de partículas (átomos, moléculas, iones o núcleos) contiene una cantidad igual a la constante de Avogadro ( $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ ) de entidades elementales (átomos, moléculas, iones o núcleos).

Para el  ${}^{238}\text{U}$  su masa molar es igual a su número másico, expresado en  $\frac{\text{mol}}{\text{g}}$ , luego:

el número de núcleos de  ${}^{238}\text{U}$  que contiene la muestra inicialmente es:

$$N_{0,U} = \frac{0,15 \cdot 10^3 \text{ g}}{238 \text{ g/mol}} \cdot N_A = 0,630 \cdot N_A$$

El número de núcleos de  ${}^{206}\text{Pb}$  que tiene la muestra al final coincide con el número de núcleos de  ${}^{238}\text{U}$  desintegrados y como la masa molar del  ${}^{206}\text{Pb}$  es  $206 \frac{\text{mol}}{\text{g}}$ , entonces:

$$N_{\text{desintegrados},U} = N_{\text{Pb}} = \frac{0,04 \cdot 10^3 \text{ g}}{206 \text{ g/mol}} \cdot N_A = 0,194 \cdot N_A$$

Por tanto el número de núcleos de  ${}^{238}\text{U}$  que quedan sin desintegrar es:

$$N = N_0 - N_{\text{Pb}} = 0,436 \cdot N_A$$

Aplicando la ley de desintegración radiactiva:  $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = N_0 \cdot e^{-\frac{\text{Ln } 2}{T} \cdot t}$

Y sustituyendo:  $0,436 \cdot N_A = 0,630 \cdot N_A \cdot e^{-\frac{\text{Ln } 2}{4,5 \cdot 10^9 \text{ años}} \cdot t}$

Operando y tomando logaritmos neperianos resulta:

$$\text{Ln} \frac{0,436}{0,630} = -\frac{\text{Ln } 2}{4,5 \cdot 10^9 \text{ años}} \cdot t \Rightarrow t = 2,39 \cdot 10^9 \text{ años}$$

5. Se dispone de 1 mol de un isótopo radiactivo, cuyo período de semidesintegración es 100 días. a) ¿Al cabo de cuánto tiempo quedará solo el 10 % del material inicial? b) ¿Qué velocidad de desintegración o actividad tiene la muestra en ese momento?

a) Aplicando la ley de desintegración radiactiva y la relación entre el período de semidesintegración,  $T$ , y la constante de desintegración,  $\lambda$ , resulta que la cantidad de átomos presentes al cabo de un tiempo,  $t$ , es:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow \frac{N_0}{10} = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$$

Tomado logaritmos neperianos y operando resulta:

$$\ln 10 = \frac{\ln 2}{T} t \Rightarrow t = \frac{\ln 10}{\ln 2} \cdot 100 \text{ días} = 332,19 \text{ días}$$

b)  $A = \lambda \cdot N$ , por tanto:

$$A = \frac{\ln 2}{T} \cdot \frac{1 \text{ mol} \cdot N_A}{10} = \frac{\ln 2}{100 \text{ día} \cdot 24 \text{ h/día} \cdot 3600 \text{ s/h}} \cdot \frac{1 \text{ mol} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ núcleo/mol}}{10}$$

$$\text{de donde: } A = 4,83 \cdot 10^{15} \frac{\text{núcleo}}{\text{s}} = 4,83 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$$

6. Se dispone de 10 mg de  $^{210}\text{Po}$ , cuyo período de semidesintegración es 138 días. Calcula: a) El tiempo que debe transcurrir para que se desintegren 6 mg. b) La cantidad de núcleos quedan sin desintegrar al cabo de 365 días.

a) Aplicando la ley de desintegración radiactiva resulta que la cantidad de átomos presentes al cabo de un tiempo,  $t$ , es:  $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

Los núcleos de los átomos de una muestra se pueden expresar en función de su masa ( $m$ ), la constante de Avogadro ( $N_A$ ) y la masa molar ( $M$ ), por lo que:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow \frac{m}{M_{\text{Po}}} \cdot N_A = \frac{m_0}{M_{\text{Po}}} \cdot N_A \cdot e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow m = m_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$\text{Tomando logaritmos neperianos: } \ln \frac{m}{m_0} = -\lambda \cdot t$$

La cantidad presente en un instante,  $m$ , es la diferencia entre la cantidad inicial  $m_0$  y la cantidad desintegrada y como  $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$ , resulta que:

$\text{Ln} \frac{m_0 - m_{\text{deintegrada}}}{m_0} = -\frac{\text{Ln} 2}{T} t$ , despejando t resulta:

$$t = -\frac{T}{\text{Ln} 2} \cdot \text{Ln} \frac{m_0 - m_{\text{deintegrada}}}{m_0} = -\frac{138 \text{ días}}{\text{Ln} 2} \cdot \text{Ln} \frac{10 \text{ mg} - 6 \text{ mg}}{10 \text{ mg}} = 182,4 \text{ días}$$

b) La cantidad de núcleos de átomos iniciales que componen la muestra es:

$$N_0 = \frac{m_0}{M_{\text{Po}}} \cdot N_A = \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ g}}{210 \text{ g/mol}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ núcleos/mol} = 2,87 \cdot 10^{19} \text{ núcleos}$$

Aplicando la ley de desintegración radiactiva:

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{\text{Ln} 2}{T} \cdot t} = 2,87 \cdot 10^{19} \text{ núcleos} \cdot e^{-\frac{\text{Ln} 2}{138 \text{ días}} \cdot 365 \text{ días}} = 4,59 \cdot 10^{18} \text{ núcleos}$$

**7. El período de semidesintegración del  $^{234}\text{U}$  es  $2,33 \cdot 10^5$  años. Calcula: a) La constante de desintegración y la vida media. b) Si se parte de una muestra inicial de  $5 \cdot 10^7$  núcleos de átomos de dicho isótopo, ¿cuántos núcleos quedarán al cabo de 1000 años?**

a) Aplicando las relaciones entre el período de semidesintegración (T), la constante de desintegración ( $\lambda$ ) y la vida media ( $\tau$ ), resulta que:

$$\lambda = \frac{\text{Ln} 2}{T} = \frac{\text{Ln} 2}{2,33 \cdot 10^5 \text{ años}} = 2,975 \cdot 10^{-6} \text{ años}^{-1}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2,975 \cdot 10^{-6} \text{ años}^{-1}} = 3,36 \cdot 10^5 \text{ años}$$

b) Aplicando la ley de desintegración radiactiva resulta que la cantidad de núcleos de átomos presentes al cabo de un tiempo, t, es:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = 5 \cdot 10^7 \text{ núcleos} \cdot e^{-2,975 \cdot 10^{-6} \text{ años}^{-1} \cdot 1000 \text{ años}} = 4,985 \cdot 10^7 \text{ núcleos}$$

**8. Se dispone de 1 mol del isótopo radiactivo  $^{51}_{24}\text{Cr}$ , cuyo período de semidesintegración es 27 días. Calcula: a) La constante radiactiva. b) ¿Cuántos gramos de Cr quedarán al cabo de 6 meses?**

a) La constante radiactiva  $\lambda$  es:  $\lambda = \frac{\text{Ln} 2}{T} = \frac{\text{Ln} 2}{27 \text{ días}} = 25,7 \cdot 10^{-3} \text{ días}^{-1}$

b) La misma relación hay entre la masa presente y la masa inicial que entre los núcleos presentes y los núcleos iniciales, ya que la constante de proporcionalidad es

la constante de Avogadro dividida entre la masa molar.

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \text{ y también: } \frac{m}{M_{Cr}} \cdot N_A = \frac{m_0}{M_{Cr}} \cdot N_A \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \text{ luego: } m = m_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Como la masa molar del  $^{51}\text{Cr}$  es:  $M_{Cr} = 51 \text{ g/mol}$ , se tiene que la masa al cabo de ese tiempo es:

$$m = 1 \text{ mol} \cdot 51 \text{ g/mol} \cdot e^{-25,7 \cdot 10^{-3} \text{ día}^{-1} \cdot 6 \text{ meses} \cdot 30 \text{ días/mes}} = 0,50 \text{ g}$$

**9. Una muestra arqueológica contiene  $^{14}\text{C}$  que tiene una actividad de  $2,8 \cdot 10^7 \text{ Bq}$ . Si el periodo de semidesintegración del  $^{14}\text{C}$  es 5730 años, determina: a) La constante de desintegración del  $^{14}\text{C}$  en  $\text{s}^{-1}$  y la población de núcleos presentes en la muestra. b) La actividad de la muestra después de 1000 años.**

a) Aplicando las relaciones entre las magnitudes estadísticas, resulta que:

$$\lambda = \frac{\text{Ln}2}{T} = \frac{\text{Ln}2}{5730 \text{ años}} = 1,21 \cdot 10^{-4} \text{ año}^{-1}$$

$$\text{Y asimismo: } \lambda = \frac{\text{Ln}2}{T} = \frac{\text{Ln}2}{5730 \text{ años} \cdot 365 \text{ días} \cdot 24 \text{ horas} \cdot 3600 \text{ s}} = 3,8 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}$$

$$A = \lambda \cdot N \Rightarrow N = \frac{A}{\lambda} = \frac{2,8 \cdot 10^7 \text{ Bq}}{3,8 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}} = 7,4 \cdot 10^{18} \text{ núcleos}$$

b) Aplicando la ley de desintegración radiactiva:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = 2,8 \cdot 10^7 \text{ Bq} \cdot e^{-1,21 \cdot 10^{-4} \text{ año}^{-1} \cdot 1000 \text{ años}} = 2,48 \cdot 10^7 \text{ Bq}$$

**10. El  $^{210}_{83}\text{Bi}$  se desintegra espontáneamente por emisión de electrones con un periodo de semidesintegración de 5 días. Si se dispone de dicho isótopo de una cantidad de  $16 \text{ A } 10^{-3} \text{ kg}$ , calcula: a) Los protones y neutrones que tiene el núcleo que resulta después de la emisión. b) La cantidad que quedará al cabo de 15 días.**

a) La ecuación del proceso que tiene lugar es:  $^{210}_{83}\text{Bi} \rightarrow ^0_{-1}\text{e} + ^{210}_{84}\text{Po}$

El número atómico del núcleo  $Z = 84$  indica el número de protones del núcleo. El número másico  $A$  expresa el número de nucleones (protones + neutrones) del núcleo. Por tanto:

número de protones = 84

número de neutrones = 210 - 84 = 126

b) El número de núcleos presentes en una muestra es:

$$N = \frac{m}{M} \cdot N_A, \text{ por tanto si no hay mezclas de sustancias radiactivas:}$$

Aplicando la ley de desintegración radiactiva:  $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$  y sustituyendo:

$$\frac{m}{M} \cdot N_A = \frac{m_0}{M} \cdot N_A \cdot e^{-\frac{\ln 2}{5 \text{ días}} \cdot 15 \text{ días}} \text{ y operando resulta: } m = m_0 \cdot e^{-3 \cdot \ln 2}$$

$$\text{Tomando logaritmos neperianos: } \ln \frac{m}{m_0} = -\ln 2^3 = \ln \frac{1}{8} \Rightarrow m = m_0/8$$

Otra forma de hacer este apartado es la siguiente: Al cabo de 15 días han transcurrido 3 períodos de semidesintegración. De una cantidad de núcleos iniciales  $N_0$ , al cabo de 5 días (T) quedan  $N_0/2$ , al cabo de 10 días (2 T) quedan  $N_0/4$  y al cabo de 15 días (3 T) tenemos  $N_0/8$ .

Y la cantidad de sustancia que queda por desintegrar es:  $m = m_0/8 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$

**11. El isótopo  $^{214}\text{U}$  tiene un período de semidesintegración de 250000 años. Si se parte de una muestra de 10 gramos de dicho isótopo, determina: a) La constante de desintegración radiactiva. b) La masa que quedará sin desintegrar después de 50000 años.**

$$\text{a) La constante radiactiva } \lambda \text{ es: } \lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{\ln 2}{250000 \text{ años}} = 2,77 \cdot 10^{-6} \text{ años}^{-1}$$

b) La misma relación hay entre la masa presente y la masa inicial que entre los átomos presentes y los átomos iniciales ya que la constante de proporcionalidad es la constante de Avogadro dividida entre la masa molar.

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad \text{y} \quad \frac{m}{M_U} \cdot N_A = \frac{m_0}{M_U} \cdot N_A \cdot e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow m = m_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$\text{Sustituyendo: } m = 10 \text{ g} \cdot e^{-2,77 \cdot 10^{-6} \text{ años}^{-1} \cdot 50000 \text{ años}} = 8,7 \text{ g}$$

**12. En un instante inicial  $t = 0$ , se dispone de una muestra de estroncio radiactivo cuya período de semidesintegración es 28,8 años. Calcula: a) La constante  $\lambda$  de desintegración. b) El número de años transcurridos para que el**

número de núcleos inestables presentes en la muestra sea el 25 % de los existentes en  $t = 0$ .

$$a) \lambda = \frac{\text{Ln } 2}{T} = \frac{0,693}{28,8 \text{ años}} = 2,41 \cdot 10^{-2} \text{ años}^{-1}$$

b) El que el número de núcleos presentes en la muestra sea el 25 %, significa:

$$N = \frac{25}{100} \cdot N_0 = \frac{N_0}{4}$$

Aplicando la ley de desintegración radiactiva:  $N = N_0 A e^{-\lambda A t}$

Sustituyendo:  $N_0/4 = N_0 A e^{-\lambda A t}$

Tomando logaritmos neperianos:  $\text{Ln } 1/4 = -\lambda A t \Rightarrow \text{Ln } 4 = \lambda A t$

$$\text{Despejando: } t = \frac{\text{Ln } 4}{\lambda} = \frac{\text{Ln } 4}{2,41 \cdot 10^{-2} \text{ años}^{-1}} = 57,6 \text{ años}$$

resultado lógico ya que para que quede el 25 % de una muestra radiactiva deben transcurrir  $2 \cdot T$  de semidesintegración.

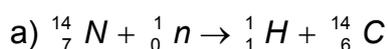
También se puede proceder de la siguiente forma que matemáticamente es más correcta:

$$N = N_0 A e^{-\lambda A t} \Rightarrow \frac{N_0}{4} = N_0 \cdot e^{-\frac{\text{Ln } 2}{T} \cdot t}$$

$$\text{Operando y tomando logaritmos neperianos: } \text{Ln } \frac{1}{2^2} = -\frac{\text{Ln } 2}{T} \cdot t$$

$$\text{Operando: } -2 \cdot \text{Ln } 2 = -\frac{\text{Ln } 2}{T} \cdot t \text{ Por lo que el tiempo transcurrido es: } t = 2 A T$$

**13. Dada la reacción nuclear dada por la expresión:  ${}^{14}_7\text{N}(n, p)\text{X}$ . a) Determina el producto X de la misma. b) Esta reacción libera 0,61 MeV, halla el incremento o disminución de masa que tiene lugar en la misma. c) El período de semidesintegración de X es de 5600 años, ¿cuánto tiempo tarda en perder 1/3 de su masa?**



b) Si se libera energía, entonces hay una disminución de masa en la reacción nuclear.

Aplicando la ecuación de Einstein:  $\Delta E = \Delta m A c^2$

$$0,61 \text{ MeV} = \Delta m \cdot 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{u} \cdot c^2} \cdot c^2 \Rightarrow \Delta m = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ u}$$

c) La constante de desintegración  $\lambda$  del elemento X es:  $\lambda = \frac{\text{Ln } 2}{T}$

La cantidad de núcleos presentes al cabo de un tiempo es:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = N_0 \cdot e^{-\frac{\text{Ln } 2}{T} \cdot t}$$

Si se pierde un tercio de su masa, significa que el número de núcleos presentes es:

$$N = \frac{2}{3} \cdot N_0$$

Sustituyendo en la ecuación exponencial, se tiene:  $\frac{2}{3} N_0 = N_0 \cdot e^{-\frac{\text{Ln } 2}{T} \cdot t}$

Tomando logaritmos neperianos:  $\text{Ln } \frac{2}{3} = -\frac{\text{Ln } 2}{T} \cdot t$

$$\text{Despejando: } t = -\text{Ln } \frac{2}{3} \cdot \frac{T}{\text{Ln } 2} = -\text{Ln } \frac{2}{3} \cdot \frac{5600 \text{ años}}{\text{Ln } 2} = 3276,5 \text{ años}$$

**14. La masa del núcleo del isótopo  ${}^{31}_{15}\text{P}$  es 30,970 u. Calcula: a) El defecto de masa. b) La energía media de enlace por nucleón en MeV. Datos: Masa del protón: 1,0073 u; masa del neutrón: 1,0087 u.**

a) El defecto de masa es igual a la masa de los constituyentes - menos la masa del isótopo.

Constituyentes: 15 protones y  $31 - 15 = 16$  neutrones.

$$\Delta m = 15 \text{ protones} \cdot 1,0073 \text{ u} + 16 \text{ neutrones} \cdot 1,0087 \text{ u} - 30,970 \text{ u} = 0,2787 \text{ u}$$

$$\text{En unidades del SI: } \Delta m = 0,2787 \text{ u} \cdot \frac{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{\text{u}} = 4,63 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$$

Aplicando la ecuación de Einstein la energía de la radiación es:

$$\Delta E = m \cdot c^2 = 4,63 \cdot 10^{-28} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 4,16 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

$$\text{Y expresado en MeV: } \Delta E = 4,16 \cdot 10^{-11} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} \cdot \frac{1 \text{ MeV}}{10^6 \text{ eV}} = 260 \text{ MeV}$$

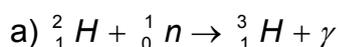
Al mismo resultado se llega aplicando la relación masa energía:  $1 \text{ u} = 931,5 \frac{\text{MeV}}{c^2}$

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0,2787 \text{ u} \cdot 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{u} \cdot c^2} c^2 = 260 \text{ MeV}$$

b) Como el número de nucleones, protones y neutrones, es 31 nucleones, se tiene:

$$\text{Energía media enlace por nucleón} = \frac{260 \text{ MeV}}{31 \text{ nucleones}} = 8,39 \frac{\text{MeV}}{\text{nucleón}}$$

**15. El deuterio y el tritio son dos isótopos del hidrógeno. Al incidir un neutrón sobre un núcleo de deuterio se forma un núcleo de tritio, emitiéndose radiación gamma en el proceso. Si las masas atómicas del deuterio, del tritio y del neutrón son: 2,014740 u, 3,017005 u y 1,008986 u, respectivamente, a) Escriba y ajuste la reacción nuclear citada. b) Calcula la longitud de onda del fotón emitido, así como su momento lineal.**



b) En primer lugar hay que calcular el defecto de masa y la energía de la radiación:

$$\Delta m = m_{\text{deuterio}} + m_{\text{neutrón}} - m_{\text{tritio}} =$$

$$= 2,014740 \text{ u} + 1,008986 \text{ u} - 3,017005 \text{ u} = 6,721 \cdot 10^{-3} \text{ u}$$

$$\text{En unidades del SI: } \Delta m = 6,721 \cdot 10^{-3} \text{ u} \cdot \frac{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{\text{u}} = 1,1157 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

Aplicando la ecuación de Einstein la energía de la radiación es:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 1,1157 \cdot 10^{-29} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 1,0041 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

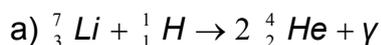
Aplicando la ecuación de Planck:  $\Delta E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ , de donde:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,0041 \cdot 10^{-12} \text{ J}} = 1,98 \cdot 10^{-13} \text{ m}$$

Según la ecuación de De Broglie, el momento lineal del fotón como partícula es:

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{1,98 \cdot 10^{-13} \text{ m}} = 3,35 \cdot 10^{-21} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

**16. Cuando se bombardea con un protón un núcleo de litio,  ${}^7_3\text{Li}$ , éste se descompone en dos partículas  $\alpha$ . a) Escribe y ajusta la reacción nuclear del proceso. b) Calcula la energía liberada en dicha desintegración, siendo las masas atómicas del litio, el hidrógeno y el helio 7,0182 u, 1,0076 u y 4,0029 u, respectivamente. Expresa el resultado en eV.**



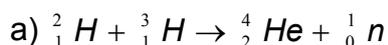
b) La pérdida de masa que se genera en el proceso es:

$$\Delta m = 7,0182\text{ u} + 1,0076\text{ u} - 2 \cdot 4,0029\text{ u} = 0,02\text{ u}$$

Y aplicando la ecuación de Einstein para hallar la energía liberada resulta:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0,02\text{ u} \cdot 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{u} \cdot c^2} \cdot c^2 = 18,63\text{ MeV}$$

**17. El deuterio y el tritio son isótopos de un cierto elemento químico; el primero posee un neutrón y dos el segundo, respectivamente. En un proceso de fusión nuclear, el deuterio y el tritio generan helio, y en esa reacción nuclear hay una pérdida de masa de una cuantía igual a:  $\Delta m = 0,01886\text{ u}$ . a) Escribe la ecuación de la reacción nuclear que tiene lugar, ajustándola adecuadamente. b) Calcula, en MeV, la energía liberada en la formación de un núcleo de helio, al producirse la reacción nuclear mencionada.**



b) Aplicando la ecuación de Einstein:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0,01886\text{ u} \cdot 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{u} \cdot c^2} \cdot c^2 = 17,57\text{ MeV}$$

**18. La actividad del  ${}^{14}\text{C}$  se puede usar para determinar la edad de algunos restos arqueológicos. Supón que una muestra contiene  ${}^{14}\text{C}$  y presenta una actividad de  $2,8 \cdot 10^7\text{ Bq}$ . La vida media del  ${}^{14}\text{C}$  es de 8270 años. Determina: a) La población de núcleos de  ${}^{14}\text{C}$  en dicha muestra. b) La actividad de esta muestra después de 1000 años.**

a) La actividad de una muestra viene dada por la ecuación:  $A = \lambda \cdot N$  y además se cumple que:  $\tau = \frac{1}{\lambda}$ , por tanto:

$$N = \frac{A}{\lambda} = A \cdot \tau = 2,8 \cdot 10^7 \frac{\text{núcleos}}{\text{s}} \cdot 8270\text{ año} \cdot 365 \frac{\text{día}}{\text{año}} \cdot 24 \frac{\text{hora}}{\text{día}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{hora}}$$

de donde  $N = 7,30 \cdot 10^{17}$  núcleos

b) Aplicando la ley de desintegración radiactiva:  $A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$  resulta:

$$A = 2,8 \cdot 10^7\text{ Bq} \cdot e^{-\frac{1}{8270\text{ año}} \cdot 1000\text{ año}} = 2,48 \cdot 10^7\text{ Bq}$$

19. El  $^{131}\text{I}$  es un isótopo radiactivo que se utiliza en medicina para tratar el hipertiroidismo, ya que se concentra en la glándula tiroides. Su período de semidesintegración es de 8 días. a) Explica como cambia una muestra de 20 mg de  $^{131}\text{I}$  tras estar almacenada en un hospital durante 48 días. b) ¿Cuál es la actividad de un microgramo de  $^{131}\text{I}$ ?

a) Aplicando la ley de desintegración radiactiva en función de la masa, se tiene que:

$$m = m_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = m_0 \cdot e^{-\frac{\text{Ln}2}{T} t} = 20 \text{ mg} \cdot e^{-\frac{\text{Ln}2}{8 \text{ días}} \cdot 48 \text{ días}} = 0,31 \text{ mg}$$

b) La actividad de una sustancia radiactiva es la cantidad de núcleos que se desintegran en la unidad de tiempo.

$$A = \lambda \cdot N =$$

$$= \frac{\text{Ln}2}{T} \cdot \frac{m}{M} = \frac{\text{Ln}2}{8 \text{ días} \cdot 24 \text{ h/día} \cdot 3600 \text{ s/h}} \cdot \frac{1 \cdot 10^{-6} \text{ g}}{131 \text{ g/mol}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ núcleos/mol} =$$

$$= 4,6 \cdot 10^9 \text{ núcleos desintegrados/s}$$

20. Se observa que la actividad radioactiva de una muestra de madera prehistórica es diez veces inferior a la de una muestra de igual masa de madera moderna. Sabiendo que el período de semidesintegración del  $^{14}\text{C}$  es 5730 años, calcula la antigüedad de la primera muestra.

La actividad de una muestra en función de la actividad inicial es:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = A_0 \cdot e^{-\frac{\text{Ln}2}{T} t}$$

Como la actividad actual es la décima parte de la inicial, se tiene que:

$$\frac{A_0}{10} = A_0 \cdot e^{-\frac{\text{Ln}2}{T} t} \Rightarrow -\text{Ln}10 = -\frac{\text{Ln}2}{T} \cdot t$$

$$\text{Despejando: } t = T \cdot \frac{\text{Ln}10}{\text{Ln}2} = 5730 \text{ años} \cdot \frac{\text{Ln}10}{\text{Ln}2} = 19034,6 \text{ años}$$

21. El carbono-14 tiene un período de semidesintegración de 5730 años y una masa atómica de 14,0032 u. Se dispone de una muestra de carbono-14 con una actividad de  $4,93 \cdot 10^9$  desintegraciones por minuto. Determina: a) La actividad. b) La masa al cabo de  $10^{10}$  segundos.

a) La actividad de una muestra en función de la actividad inicial es:

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} t} =$$

$$= 4,93 \cdot 10^9 \frac{\text{desintegraciones}}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} e^{-\frac{\ln 2}{5730 \text{ años} \cdot 3,15 \cdot 10^7 \text{ s/año}} \cdot 10^{10} \text{ s}} = 7,91 \cdot 10^7 \text{ Bq}$$

b) La actividad de una muestra está relacionada con los átomos presentes con la relación:

$A = \lambda \cdot N$ , luego:

$$N = \frac{A}{\lambda} = \frac{A \cdot T}{\ln 2} = \frac{7,91 \cdot 10^7 \text{ Bq} \cdot 5730 \text{ años} \cdot 3,15 \cdot 10^7 \text{ s/año}}{\ln 2} = 2,06 \cdot 10^{19} \text{ átomos}$$

Como la masa molar del carbono-14 es 14,0032 g/mol, la masa de esos átomos es:

$$m = \frac{2,06 \cdot 10^{19} \text{ átomos}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ átomos/mol}} \cdot 14,0032 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 4,79 \cdot 10^{-4} \text{ g}$$

**22. Calcula la energía liberada, expresada en kW·h, durante la fisión de 1 g de  $^{235}\text{U}$ , sabiendo que la fisión de cada núcleo de uranio libera una energía de 200 MeV.**

Como en un mol de átomos de uranio hay una cantidad de núcleos igual a la constante de Avogadro, resulta que los núcleos de uranio contenidos en la muestra son:

$$N = \frac{1 \text{ g}}{235 \text{ g/mol}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ núcleos/mol} = 2,56 \cdot 10^{21} \text{ núcleos}$$

La energía liberada es:  $E = 2,56 \cdot 10^{21} \text{ núcleos} \cdot 200 \text{ MeV/núcleo} = 5,12 \cdot 10^{23} \text{ MeV}$

Y expresada en kW·h es:

$$E = 5,12 \cdot 10^{23} \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{\text{eV}} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ J/s}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 2,28 \cdot 10^4 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

**23. El Sol irradia energía con una potencia de  $4 \cdot 10^{26} \text{ W}$ . Suponiendo que esto se deba a la conversión de cuatro protones en helio, lo cual libera  $26,7 \cdot 10^6 \text{ eV}$  y que los protones constituyen la mitad de la masa del Sol, estima cuántos años faltan para que el Sol se extinga si continúa radiando energía al ritmo actual. Dato:  $M_{\text{Sol}} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ .**

La cantidad de protones que contiene el Sol es:

$$n_p = \frac{M_{sol} / 2}{m_p} = \frac{2 \cdot 10^{30} \text{ kg} / 2}{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 5,988 \cdot 10^{56} \text{ protones}$$

Y la energía liberada por la conversión de estos protones en helio es:

$$E = 5,988 \cdot 10^{56} \text{ protones} \cdot \frac{26,7 \cdot 10^6 \text{ eV}}{4 \text{ protones}} = 4,13 \cdot 10^{63} \text{ eV}$$

Y expresada en julios:  $E = 4,13 \cdot 10^{63} \text{ eV} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{\text{eV}} = 6,6 \cdot 10^{44} \text{ J}$

Y aplicando la definición de potencia, resulta que el tiempo pedido es:

$$P = \frac{E}{t} \Rightarrow 4 \cdot 10^{26} \text{ W} = \frac{6,6 \cdot 10^{44} \text{ J}}{t} \Rightarrow t = 1,65 \cdot 10^{18} \text{ s} = 5,2 \cdot 10^{10} \text{ años}$$

**24. El núcleo  ${}_{15}^{32}\text{P}$  se desintegra emitiendo un electrón que adquiere una energía cinética igual a 1,71 MeV. Escribe la reacción nuclear que tiene lugar, determinando A y Z del núcleo hijo y la masa de ese núcleo si la masa del  ${}_{15}^{32}\text{P}$  es 31,973908 u.**

La reacción nuclear que tiene lugar es:  ${}_{15}^{32}\text{P} \rightarrow {}_{16}^{32}\text{X} + {}_{-1}^0\text{e}$

La energía cinética del electrón expresada en julios es:

$$E = 1,71 \text{ MeV} = 1,71 \cdot 10^6 \cdot \text{eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 2,736 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Que corresponde a una disminución de masa igual a:

$$\Delta m = \frac{E}{c^2} = \frac{2,736 \cdot 10^{-13} \text{ J}}{(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} = 3,04 \cdot 10^{-30} \text{ kg} = 3,04 \cdot 10^{-27} \text{ g}$$

Y expresada en unidades de masa atómica (u):

$$\Delta m = 3,04 \cdot 10^{-27} \text{ g} = 3,04 \cdot 10^{-27} \text{ g} \cdot \frac{1 \text{ u}}{1,6606 \cdot 10^{-24} \text{ g}} = 1,83 \cdot 10^{-3} \text{ u}$$

La masa del núcleo hijo es:  $31,973908 \text{ u} - 1,83 \cdot 10^{-3} \text{ u} = 31,972077 \text{ u}$

**25. El isótopo de fósforo  ${}_{15}^{32}\text{P}$ , cuya masa es 31,9739 u, se transforma por emisión beta en un isótopo estable de azufre (Z = 16), de masa 31,9721 u. El**

proceso, cuyo período de semidesintegración es 14,28 días, está acompañado por la liberación de energía en forma de radiación electromagnética. Con estos datos: a) Escribe la reacción nuclear, el tipo de desintegración beta producido, la energía y la frecuencia de la radiación emitida. b) Calcula la fracción de núcleos de átomos de fósforo desintegrados al cabo de 48 horas para una muestra formada inicialmente sólo por núcleos de  ${}_{15}^{32}\text{P}$ .

a)  ${}_{15}^{32}\text{P} \rightarrow {}_{16}^{32}\text{S} + {}_{-1}^0\text{e}$ , luego se trata de una emisión beta de un electrón y no de un positrón.

A continuación hay que calcular el defecto de masa para hallar la energía de la radiación emitida:

$$\Delta m = m_{\text{fósforo}} - (m_{\text{azufre}} + m_{\text{electrón}}) = 31,9739 \text{ u} - (31,9721 \text{ u} + 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ u}) = 0,0013 \text{ u}$$

$$\text{En unidades del SI: } \Delta m = 0,0013 \text{ u} \cdot \frac{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{\text{u}} = 2,0767 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

Aplicando la ecuación de Einstein la energía de la radiación es:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 2,0767 \cdot 10^{-30} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 1,8690 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Aplicando la ecuación de Planck:  $\Delta E = h \cdot \nu$ , de donde:

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{1,8690 \cdot 10^{-13} \text{ J}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = 2,82 \cdot 10^{20} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{b) } N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = N_0 \cdot e^{-\frac{\text{Ln} 2}{T} \cdot t}, \text{ luego: } \frac{N}{N_0} = e^{-\frac{\text{Ln} 2}{T} \cdot t}$$

$$\text{Por tanto: } \frac{N}{N_0} = e^{-\frac{\text{Ln} 2}{14,28 \text{ día} \cdot 24 \text{ horas / día}} \cdot 48 \text{ horas}} = 0,907$$

Y expresado en % es:  $0,907 \cdot 100 = 90,7 \%$ , que es el % de fósforo que hay al cabo de 48 horas, luego la fracción desintegrada es:  $100 - 90,7 = 9,3 \%$ .

## Test de evaluación

1. Indica si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones relacionados con la fluorescencia y la radiactividad: a) Son fenómenos que dependen el uno del otro. b) Son fenómenos diferentes, pero relacionados entre sí. c) Son fenómenos diferentes y sin relación alguna entre sí. d) Ambos son el mismo fenómeno físico.

La fluorescencia y la radiactividad son fenómenos que no guardan una relación de dependencia entre sí y la radiación radiactiva sigue emitiéndose aunque no se excite a la sustancia que origina fluorescencia con radiaciones electromagnéticas.

Por tanto:

- a) Son fenómenos que dependen el uno del otro es falsa.
- b) Son fenómenos diferentes, pero relacionados entre sí es falsa.
- c) Son fenómenos diferentes y sin relación alguna entre sí es verdadera.
- d) Ambos son el mismo fenómeno físico es falsa.

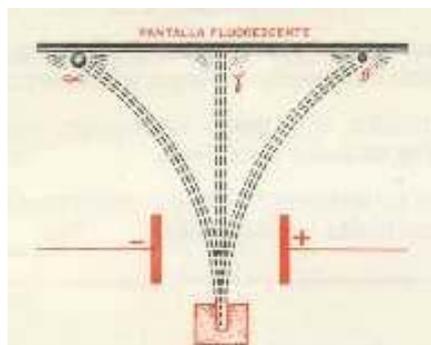
**2. Ante un campo eléctrico formado por una placa positiva situada a la derecha y una placa negativa a la izquierda pasan a su través rayos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , cómo es la trayectoria de los mismos al atravesar el campo eléctrico paralelamente a las placas: a) La misma en los tres casos. b) Los  $\alpha$  y  $\beta$  no se desvían y  $\gamma$  sí. c)  $\gamma$  no se desvía,  $\alpha$  hacia la placa negativa y  $\beta$  hacia la positiva. d)  $\gamma$  no se desvía,  $\beta$  hacia la placa negativa y  $\alpha$  hacia la positiva.**

Las partículas  $\alpha$  son núcleos de helio y por ello tienen carga positiva, por lo que son atraídos hacia la placa negativa y repelidos por la placa positiva.

Las partículas  $\beta$  son electrones, por lo que se dirigen hacia la placa positiva y se alejan de la negativa.

Las partículas  $\gamma$  son radiación electromagnética y no sufren desviación al atravesar el campo eléctrico.

Gráficamente se obtiene:



Por tanto:

- a) La misma en los tres casos es falsa.
- b) Los  $\alpha$  y  $\beta$  no se desvían y  $\gamma$  sí es falsa.
- c)  $\gamma$  no se desvía,  $\alpha$  hacia la placa negativa y  $\beta$  hacia la positiva es verdadera.
- d)  $\gamma$  no se desvía,  $\beta$  hacia la placa negativa y  $\alpha$  hacia la positiva es falsa.

**3. Si en el Uranio:  $Z = 92$  y  $A = 238$ , el número de neutrones es: a) 92. b) 238. c) 146. d) 330.**

En el núcleo de un átomo, el número atómico  $Z$  indica la cantidad de protones que contiene y el número másico  $A$  es igual a la suma del número de protones más el de neutrones. Por tanto:

Número de neutrones =  $234 - 92 = 142$  neutrones.

Luego la afirmación correcta es la c).

**4. Completa la frase: Isóbaros son núcleos que tienen el mismo \_\_\_\_\_, pero diferente \_\_\_\_\_ y diferente \_\_\_\_\_.**

La frase correcta es:

Isóbaros son núcleos que tienen el mismo número másico  $A$ , pero diferente número atómico  $Z$  y diferente número de neutrones.

**5. La actividad de una muestra radiactiva es 5 Ci y equivale a: a) 3,7 Bq. b)  $1,85 \cdot 10^{11}$  Bq. c)  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq. d) 1 Bq.**

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq, luego: } 5 \text{ Ci} \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \frac{\text{Bq}}{\text{Ci}} = 1,85 \cdot 10^{11} \text{ Bq}$$

Por tanto la respuesta correcta es la b).

**6. El tiempo que transcurre durante un proceso radiactivo para que el número de núcleos de los átomos iniciales se reduzca a la mitad se llama: a) Período de semidesintegración. b) Vida media. c) Semivida. d) Media vida.**

El período de semidesintegración,  $T$ , es el tiempo que tarda una muestra de núcleos de átomos radiactivos en reducirse a la mitad.

La vida media,  $\tau$ , representa un promedio del tiempo que tarda en desintegrarse un núcleo de la muestra radiactiva elegido al azar.

La relación entre ambas magnitudes físicas es la siguiente:  $\tau = \frac{T}{\text{Ln } 2}$

Por tanto, período de semidesintegración y vida media son conceptos diferentes. Por otro lado, a veces al período de semidesintegración se le conoce como semivida y media vida no es un concepto físico relacionado con la actividad radiactiva. En consecuencia, a) es correcta, b) falsa, c) correcta y d) falsa.

**7. Completa la siguiente frase. La radiactividad \_\_\_\_\_ es la emisión radiactiva que tiene lugar como consecuencia de una \_\_\_\_\_ nuclear \_\_\_\_\_ previamente.**

La frase correcta es:

La radiactividad artificial es la emisión radiactiva que tiene lugar como consecuencia de una reacción nuclear provocada previamente.

**8. Indica si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones: a) La fisión nuclear es un proceso radiactivo y la fusión nuclear no. b) La fusión nuclear es un proceso radiactivo y la fisión nuclear no. c) Tanto la fusión nuclear como la fisión nuclear son procesos exoenergéticos. d) La fusión nuclear es un proceso muy endoenergético.**

Tanto la fisión como la fusión nuclear son procesos radiactivos que globalmente son muy exoenergéticos. Por tanto:

a) La fisión nuclear es un proceso radiactivo y la fusión nuclear no es falsa.

b) La fusión nuclear es un proceso radiactivo y la fisión nuclear no es falsa.

c) Tanto la fusión nuclear como la fisión nuclear son procesos exoenergéticos es verdadera.

d) La fusión nuclear es un proceso muy endoenergético es falsa.

**9. Si el periodo de semidesintegración de una sustancia radiactiva es 6000 años, ¿cuánto tiempo tarda en perder 1/4 de su masa?: a) 2490,2 años. b) 2940,2 años. c) 6000 años. d) 12000 años.**

La cantidad de núcleos de átomos presentes al cabo de un tiempo es:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot t}$$

Si se pierde un cuarto de su masa, significa que el número de átomos presentes es:

$$N = \frac{3}{4} N_0$$

$$\text{Luego: } \frac{3}{4} N_0 = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot t} \Rightarrow \ln \frac{3}{4} = -\frac{\ln 2}{T} \cdot t$$

y al despejar t se obtiene:

$$t = -\ln \frac{3}{4} \cdot \frac{T}{\ln 2} = -\ln \frac{3}{4} \cdot \frac{6000 \text{ años}}{\ln 2} = 2490,2 \text{ años}$$

Luego la respuesta correcta es la a).

**10. La masa del  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$  es 39,97545 u por lo que la energía liberada en la formación de 0,5 mol del mismo es: a)  $9,69 \cdot 10^{25}$  MeV. b) 7,99 MeV. c) 321,83 MeV. d) 8,05 MeV.**

El núcleo del átomo de Calcio  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$  tiene 20 protones y 20 neutrones y el defecto de masa en la formación del citado núcleo es:

$$\Delta m = 20 \text{ A } m_p + 20 \text{ A } m_n - m_{\text{Ca}} = 20 \text{ A } 1,0073 \text{ u} + 20 \text{ A } 1,0087 \text{ u} - 39,97545 \text{ u} = 0,3455 \text{ u}$$

La energía liberada en la formación de un núcleo de calcio es:

$$\Delta E = \Delta m \text{ A } c^2 = 0,3455 \text{ u A } 931,5 \frac{\text{MeV}}{\text{u} \cdot c^2} \cdot c^2 = 321,83 \text{ MeV}$$

$$\text{Luego por tanto: } \Delta E = 321,83 \frac{\text{MeV}}{\text{núcleo}}$$

$$\text{Como hay: } n = 0,5 \text{ mol} \cdot N_A = 0,5 \text{ mol} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ núcleos/mol} = 3,01 \cdot 10^{23} \text{ núcleos de Ca}$$

$$\text{Luego: } \Delta E = 3,01 \cdot 10^{23} \text{ núcleos} \cdot 321,83 \frac{\text{MeV}}{\text{núcleo}} = 9,69 \cdot 10^{25} \text{ MeV}$$

Luego la respuesta correcta es la a).