

Topic 7-Atomic, nuclear and particle physics

Formative Assessment

PROBLEM SET

NAME: _____ TEAM: _____

THIS IS A PRACTICE ASSESSMENT. Show formulas, substitutions, answers, and units!

- Resolver problemas relacionados con el defecto de masa y la energía de enlace
- Resolver problemas relacionados con la energía liberada en la desintegración radiactiva, la fisión nuclear y la fusión nuclear
- Dibujar aproximadamente e interpretar la forma general de la curva de la energía media de enlace por nucleón frente al número de nucleones

Topic 7.2 – Nuclear reactions/ Paper1

1. El defecto de masa del deuterio es de 4×10^{-30} kg. ¿Cuál es entonces la energía de enlace del deuterio?

- A. 4×10^{-7} eV B. 8×10^{-2} eV **C. 2×10^6 eV** D. 2×10^{12} eV

2. ¿Cuál opción proporciona el cambio total en la masa nuclear y en la energía de enlace nuclear como resultado de una reacción de fusión nuclear?

Masa nuclear	Energía de enlace nuclear
A. disminuye	disminuye
B. disminuye	aumenta
C. aumenta	disminuye
D. aumenta	aumenta

3. La energía de enlace por nucleón del ${}^{11}_4\text{Be}$ es de 6 MeV. ¿Cuál es la energía necesaria para separar los nucleones de este núcleo?

- A. 24 MeV B. 42 MeV **C. 66 MeV** D. 90 MeV

4. El papel fundamental del moderador en un reactor nuclear de fisión es

- A. ralentizar a los neutrones.**
B. absorber a los neutrones.
C. reflejar los neutrones hacia el reactor.
D. acelerar a los neutrones.

5. El defecto de masa del deuterio es de 4×10^{-30} kg. ¿Cuál es entonces la energía de enlace del deuterio?

- A. 4×10^{-7} eV B. 8×10^{-2} eV **C. 2×10^6 eV** D. 2×10^{12} eV

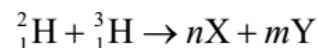
6. ¿Cuál de las siguientes definiciones es la correcta para la energía de enlace de un núcleo?

- A. El producto de la energía de enlace por nucleón por el número de nucleones
- B. El mínimo trabajo requerido para separar completamente los nucleones entre sí**
- C. La energía que mantiene al núcleo unido
- D. La energía liberada durante la emisión de una partícula alfa

7. Para material fisible, el enriquecimiento de combustible consiste en

- A. el aumento en la relación $\frac{\text{uranio}-235}{\text{uranio}-238}$.**
- B. la conversión de uranio-235 en uranio-238.
- C. la conversión de uranio-238 en plutonio-239.
- D. el aumento en la relación $\frac{\text{uranio}-238}{\text{uranio}-235}$.

8. Un alumno sugiere la siguiente reacción nuclear entre deuterio ${}^2_1\text{H}$ y tritio ${}^3_1\text{H}$



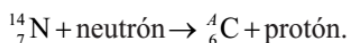
en la que n y m son enteros. ¿Qué son X e Y?

- | X | Y |
|--------------------------|----------------|
| A. electrón | neutrón |
| B. electrón | protón |
| C. partícula alfa | neutrón |
| D. partícula alfa | protón |

9. ¿Cómo se define la unidad de masa atómica (unificada)?

- A. La masa de un átomo de hidrógeno.
- B. 1/12 de la masa de un átomo de carbono-12.**
- C. La masa de un átomo de carbono-12.
- D. 1/16 de la masa de un átomo de oxígeno-16.

10. Se bombardean núcleos del isótopo nitrógeno-14 con neutrones y así se producen núcleos de un isótopo de carbono. La ecuación de la reacción nuclear para este proceso puede escribirse como



¿Cuál es el número de nucleones A del isótopo de carbono?

- A. 12
- B. 13
- C. 14**
- D. 15

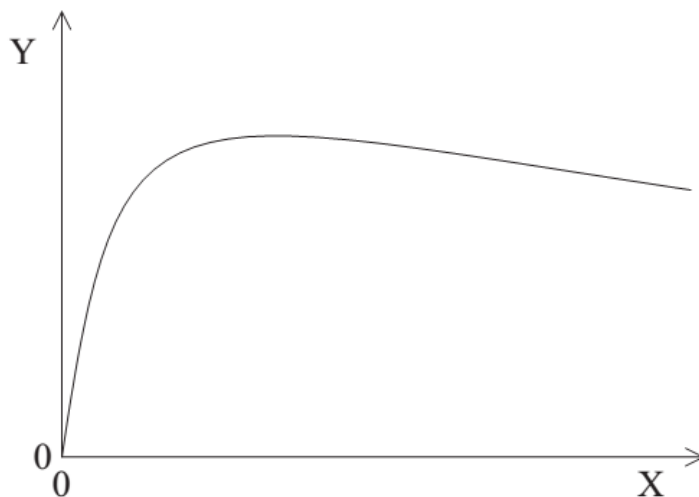
11. ¿Para qué magnitud puede usarse la unidad MeVc^{-2} ?

- A. Masa**
- B. Momento lineal
- C. Energía cinética
- D. Energía de enlace

12. El uranio-238 (${}^{238}_{92}\text{U}$) da lugar a un núcleo de plutonio-239 (${}^{239}_{94}\text{Pu}$) como consecuencia de

- A. la captura de un electrón seguida de una desintegración alfa.
- B. la captura de un electrón seguida de una desintegración beta.
- C. la captura de un neutrón seguida de una desintegración alfa.
- D. la captura de un neutrón seguida de una desintegración beta.**

13. Utilizando los ejes de más abajo se han representados datos concernientes a núclidos.



¿Cuáles son los rótulos para los ejes en este gráfico?

Y

X

- | | |
|---|-------------------------------|
| A. energía de enlace por nucleón | número de nucleones |
| B. energía de enlace | número de protones |
| C. número de protones | energía de enlace por nucleón |
| D. número de nucleones | energía de enlace |

14. ¿Cuál de las siguientes secuencias de desintegración tendrá como resultado que el núcleo hijo tenga el mismo número de protones que el núcleo padre?

- A. Alfa seguida de gamma
- B. Beta (β^-) seguida de gamma
- C. Alfa seguida de beta (β^-) seguida de beta (β^-)**
- D. Beta (β^-) seguida de gamma seguida de gamma

15. La diferencia entre la masa de un núcleo ${}^{12}_6\text{C}$ y la suma de las masas de los nucleones individuales es de 0,1u. ¿Cuál de las siguientes respuestas corresponde aproximadamente a la energía de enlace del núcleo?

- A. 90MeV**
- B. 90MeVc^{-2}
- C. 8 MeV
- D. 8MeVc^{-2}

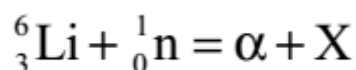
16. El proceso por el cual un núcleo pesado se descompone en dos núcleos más ligeros se conoce como

- A. fisión.
- B. fusión.
- C. desintegración radiactiva.
- D. transmutación artificial (inducida).

17. ¿Cuál de las siguientes fuentes de energía procede de la energía solar incidente sobre la Tierra?

- A. La fisión nuclear
- B. La energía eólica
- C. La fusión nuclear
- D. La energía geotérmica

18. En una reacción nuclear se produce una partícula α . La ecuación de la reacción se muestra a continuación.



¿Cuál de las siguientes opciones identifica correctamente el número atómico y el número másico del núclido X?

	Número atómico	Número másico
A.	1	1
B.	3	1
C.	1	3
D.	1	2

19. Un núcleo de ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ se desintegra por la emisión de un electrón. ¿Cuáles son los números másico (de nucleones) y atómico (de protones) del núcleo resultante?

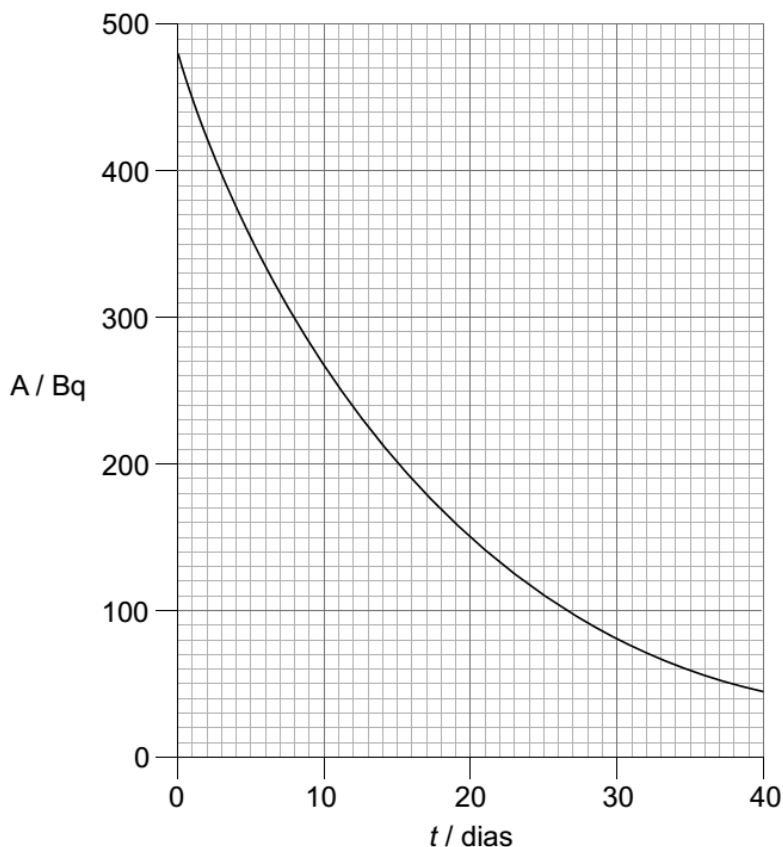
	Número másico	Número de protones
A.	89	38
B.	90	39
C.	91	38
D.	91	39

Topic 7.2 – Nuclear reactions/ Paper2

1. (a) Un núcleo de fósforo-32 ($^{32}_{15}\text{P}$) se desintegra por desintegración beta menos (β^-) en un núcleo de azufre-32 ($^{32}_{16}\text{S}$). La energía de enlace por nucleón del $^{32}_{15}\text{P}$ es de 8,398 MeV y para el $^{32}_{16}\text{S}$ es de 8,450 MeV.

Determine la energía liberada en esta desintegración. [2]

(b) En la gráfica se muestra la variación con el tiempo t de la actividad A de una muestra que contiene fósforo-32 ($^{32}_{15}\text{P}$).



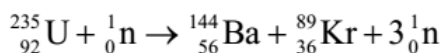
Determine la semivida del $^{32}_{15}\text{P}$. [1]

(c) Los quarks fueron postulados como hipótesis mucho antes de que se verificara experimentalmente su existencia. Discuta las razones por las que los físicos desarrollaron una teoría que incorpora quarks. [3]

Question		Answers	Notes	Total
6	a	«energy/mass difference => 8.450 – 8.398 «= 0.052 MeV» ✓ Q = 1.7 or 1.66 or 1.664 MeV OR $2.66 \times 10^{-13} \text{ J}$ ✓		2
	b	11 – 12 days ✓		1
	c	quark theory is simpler OR Occam's razor example OR simple model explains complex observations ✓ quotes experiment that led to quark theory, eg deep inelastic scattering or electron scattering ✓ model incorporates strong/weak interactions/forces between protons and neutrons ✓ model incorporates conservation rules ✓ model explains differences between neutrons and protons OR explains decay of neutron to proton ✓		3 max

2. Fisión nuclear

(d) Se muestra a continuación una reacción que tiene lugar en el núcleo de un reactor nuclear concreto.



En el reactor nuclear, tienen lugar $9,5 \times 10^{19}$ fisiones cada segundo. Cada fisión da lugar a 200MeV de energía disponible para su conversión a energía eléctrica. El rendimiento global de la central nuclear es de un 32%.

(i) Determine la masa de U-235 que es objeto de fisión en el reactor cada día. [3]

(ii) Calcule la potencia de salida de la central nuclear. [2]

(e) Además de U-235, el reactor nuclear contiene un moderador y barras de control. Explique la función de:

(i) el moderador. [3]

(ii) las barras de control. [2]

Part 2 Nuclear fission

- (d) (i) number of fissions in one day $= 9.5 \times 10^{19} \times 24 \times 3600 (= 8.2 \times 10^{24})$;
mass of uranium atom $= 235 \times 1.661 \times 10^{-27} (= 3.9 \times 10^{-25} \text{ kg})$;
mass of uranium in one day $(= 8.2 \times 10^{24} \times 3.9 \times 10^{-25}) = 3.2 \text{ kg}$; **[3]**
- (ii) energy per fission $= 200 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} (= 3.2 \times 10^{-11} \text{ J})$;
power output $= (9.5 \times 10^{19} \times 3.2 \times 10^{-11} \times 0.32) = 9.7 \times 10^8 \text{ W}$; **[2]**
Award [1] for an answer of $6.1 \times 10^{27} \text{ eVs}^{-1}$.
- (e) (i) neutrons have to be slowed down (before next fission);
because the probability of fission is (much) greater (with neutrons of thermal energy);
neutrons collide with/transfer energy to atoms/molecules (of the moderator); **[3]**
- (ii) have high neutron capture cross-section/good at absorbing neutrons;
(remove neutrons from the reaction) thus controlling the rate of nuclear reaction; **[2]**

3. Esta pregunta trata de la energía de enlace y del defecto de masa.

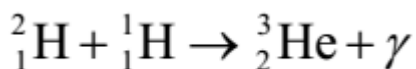
(a) Indique qué se entiende por defecto de masa. [1]

(b) (i) A continuación se dan datos para esta pregunta.

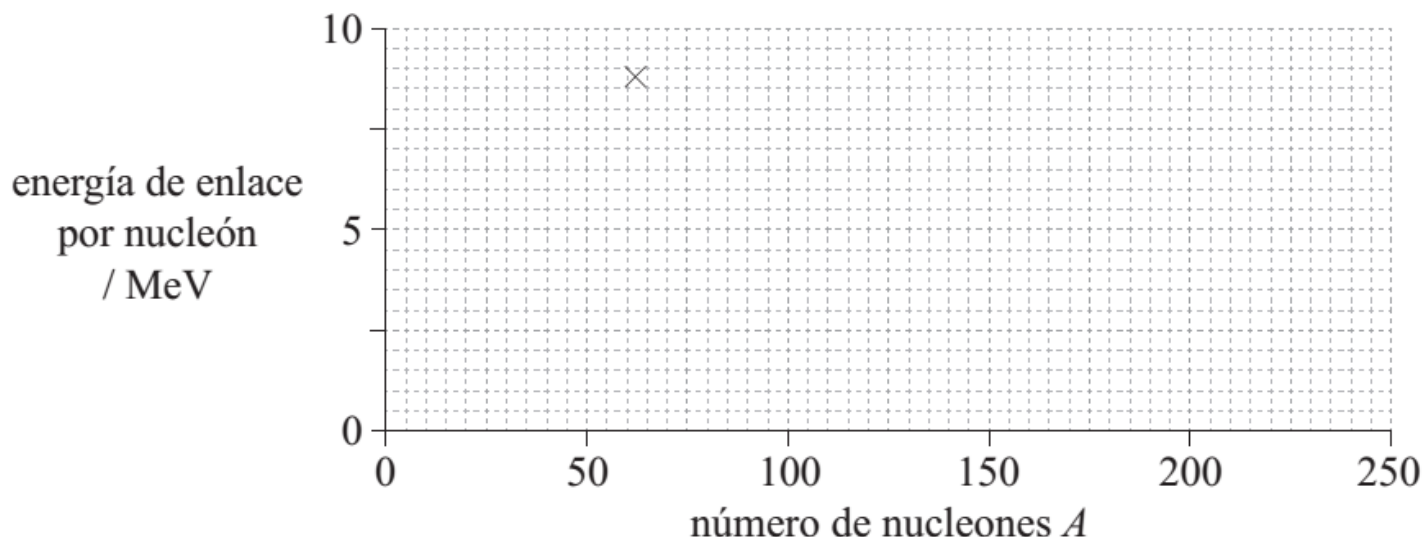
La energía de enlace por nucleón para el deuterio (${}^2_1\text{H}$) es 1,1MeV.

La energía de enlace por nucleón para el helio-3 (${}^3_2\text{He}$) es 2,6MeV.

Utilizando los datos, calcule la variación de energía en la siguiente reacción. [2]



(ii) La cruz sobre la cuadrícula muestra la energía de enlace por nucleón y el número de nucleones A del núclido níquel-62.



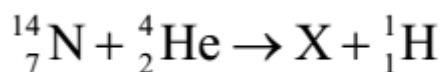
Sobre la cuadrícula, esquematice una gráfica que muestre cómo varía con el número de nucleones A la energía media de enlace por nucleón. [2]

(iii) Indique y explique, según la gráfica esquemática, si se libera o absorbe energía en la reacción de (b)(i). [2]

3. (a) difference between mass of a nucleus and the sum of mass of nucleons/constituents/particles; [1]
- (b) (i) binding energy of left-hand side = 1.11×2 and binding energy of right-hand side = 3×2.6 ; } (both needed)
energy release = 5.58 (MeV); (ignore sign) } (allow ECF) [2]
- (ii) line goes through Ni point and nickel is the maximum ± 2 small squares horizontally; } (allow Fe-56 as maximum – this is just outside the range allowed)
line starts at 0, downward trend for A after 62, trend after nickel less steep than before; [2]
Line must go through part of the X to award first marking point.
Line must not flatten out to award second marking point.
Allow smooth curve for low A .
Allow incorrect variations at low A .
- (iii) nucleus produced in the reaction is higher up the curve than the reactants / OWTTE; } (must see reference to graph)
reference to binding energy/other valid reason results in energy release; [2]
Award [0] for a bald correct answer.
Award [0] for any discussion of fission.

4. La parte 1 trata sobre desintegración radiactiva

(d) Los protones se pueden producir bombardeando núcleos de nitrógeno-14 con partículas alfa. La ecuación de la reacción nuclear para este proceso figura a continuación.



Identifique el número de protones y el número de nucleones del núcleo X. [1]

Número de protones:

Número de nucleones:

(e) Se dispone de los siguientes datos, relativos a la reacción de (d).

Masa en reposo del núcleo de nitrógeno-14 = 14,0031u

Masa en reposo de la partícula alfa = 4,0026u

Masa en reposo del núcleo X = 16,9991u

Masa en reposo del protón = 1,0073u

Demuestre que la energía cinética mínima que debe tener la partícula alfa para que tenga lugar la reacción es, aproximadamente, de 0,7MeV. [3]

(f) Un núcleo de otro isótopo del elemento X de (d) se desintegra, con una semivida $T_{1/2}$ en un núcleo de un isótopo del flúor-19 (F-19).

(i) Defina los términos isótopo y semivida. [2]

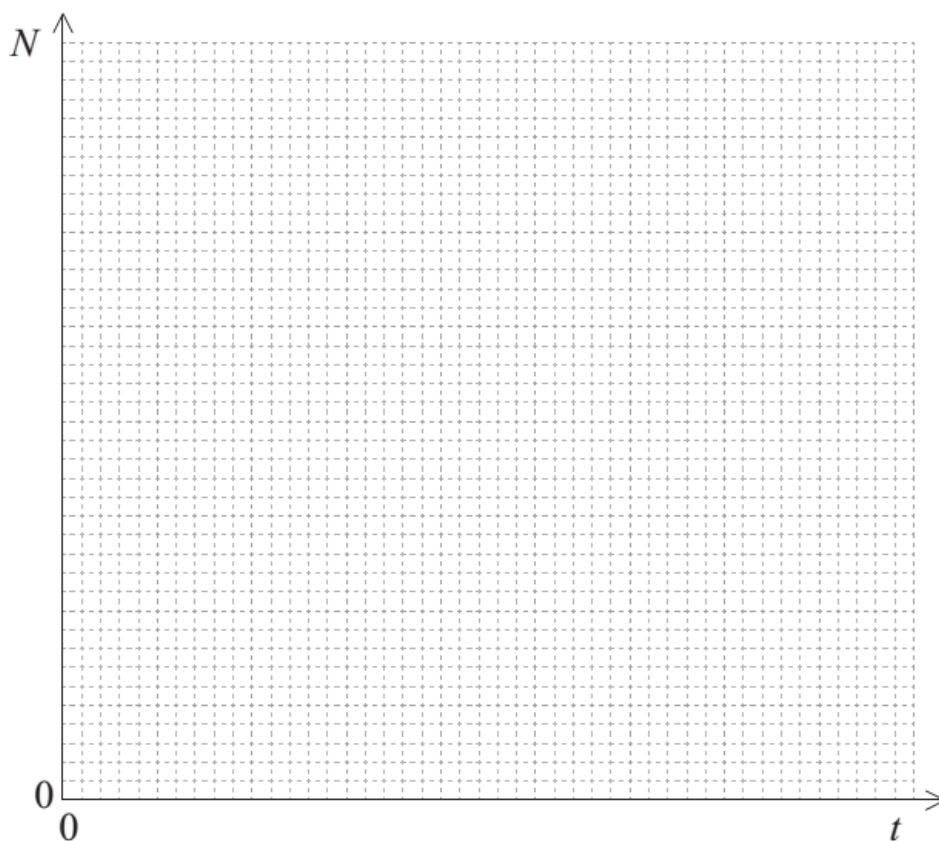
Isótopo:

.....

Semivida:

.....

(ii) Utilizando los ejes de más abajo, esquematice una gráfica para mostrar cómo el número de átomos N de una muestra de X varía con el tiempo t, desde $t = 0$ hasta $t = 3T_{1/2}$. En $t=0$, la muestra contiene N_0 átomos. [3]



- (d) $\left. \begin{array}{l} \text{proton number: } 8 \\ \text{nucleon number: } 17 \end{array} \right\} \text{ (both needed)}$

[1]

- (e) $16.9991\text{u} + 1.0073\text{u} - [14.0031\text{u} + 4.0026\text{u}];$
 $= -7.00 \times 10^{-4};$
 $7.000 \times 10^{-4} \times 931.5 = 0.6521 \text{ MeV};$
 $(\sim 0.7 \text{ MeV})$

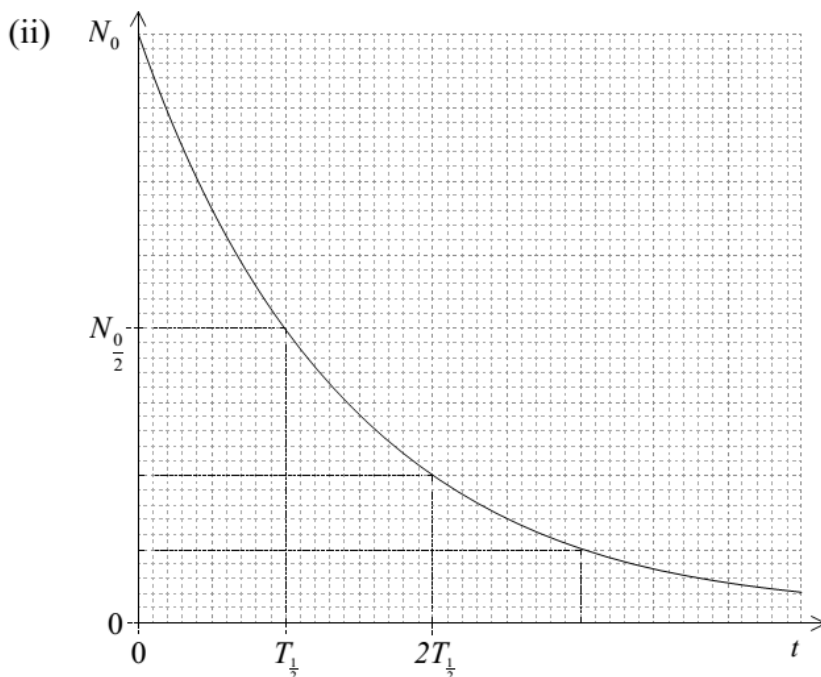
[3]

- (f) (i) *isotope*:
same proton number/element/number of protons **and** different
number of neutrons/nucleon number/neutron number; } (both needed)

half-life:

time for the activity (of a radioactive sample) to fall by half its original value / time for half the radioactive/unstable nuclei/atoms (in a sample) to decay;

[2]



(approximately) exponential shape;
minimum of three half lives shown;

graph correct at $\left[T_{\frac{1}{2}}, \frac{N_0}{2}\right]$, $\left[2T_{\frac{1}{2}}, \frac{N_0}{4}\right]$, $\left[3T_{\frac{1}{2}}, \frac{N_0}{8}\right]$;

[3]

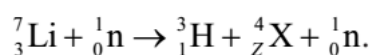
5. Reacciones nucleares y desintegración radiactiva

(a) El isótopo tritio (hidrógeno-3) tiene una semivida radiactiva de 12 días.

(i) Indique qué se entiende por el término isótopo. [1]

(ii) Defina semivida radiactiva. [1]

(b) El tritio puede generarse al bombardear un núcleo del isótopo litio-7 con un neutrón de alta energía. La ecuación de la reacción para esta interacción es



(i) Identifique el número de protones Z de X. [1]

Z=

(ii) Utilice los siguientes datos para demostrar que la energía mínima que ha de tener un neutrón para iniciar la reacción en (b)(i) es de alrededor de 2,5MeV. [2]

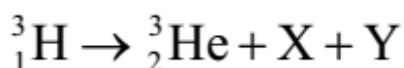
Masa en reposo del núcleo de litio-7 = 7,0160 u

Masa en reposo del núcleo de tritio = 3,0161u

Masa en reposo del núcleo de X = 4,0026u

(c) Suponiendo que el núcleo de litio-7 de (b) se encuentra en reposo, sugiera por qué, basándose en la conservación del momento, el neutrón que origina la reacción ha de tener una energía mayor de 2,5MeV. [2]

(d) Un núcleo de tritio se desintegra en un núcleo de helio-3. Identifique las partículas X e Y en la ecuación de la reacción nuclear para esta desintegración. [2]

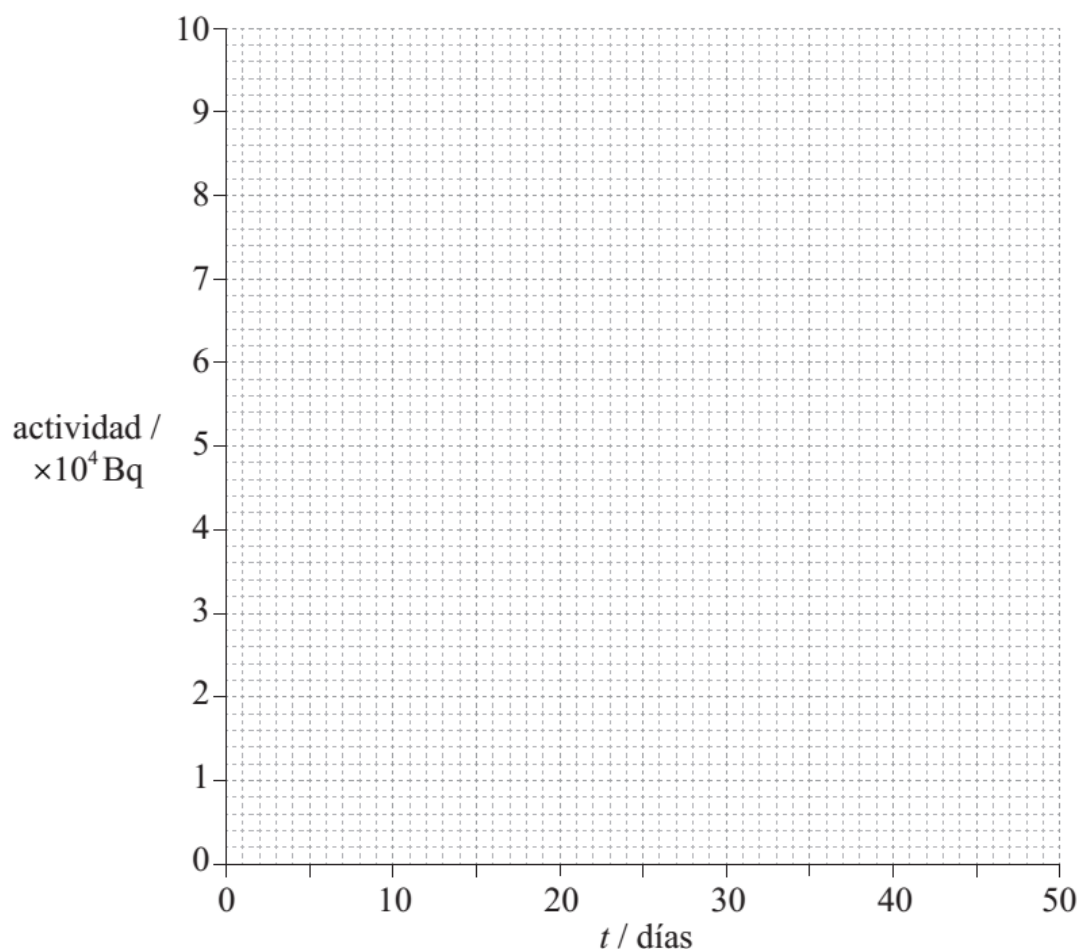


X:

Y:

(e) Una muestra de tritio tiene una actividad de $8,0 \times 10^4 \text{Bq}$ en el instante $t=0$. La semivida del tritio es de 12 días.

(i) Utilizando los ejes siguientes, construya una gráfica que muestre cómo varía con el tiempo la actividad de la muestra desde $t=0$ hasta $t=48$ días. [2]



(ii) Utilice la gráfica para determinar la actividad de la muestra pasados 30 días. [1]

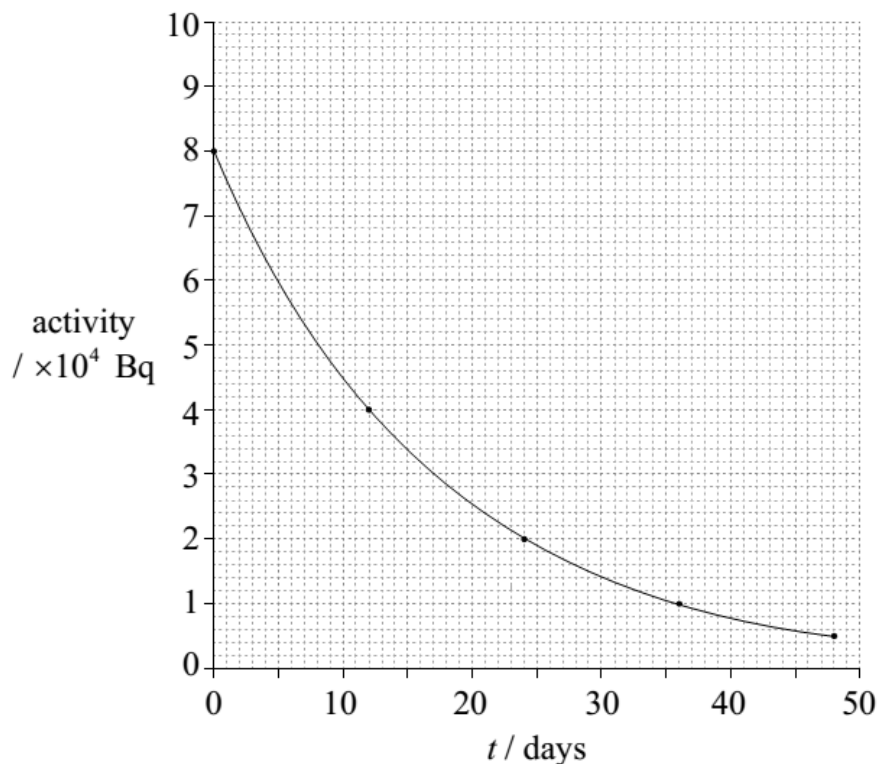
(iii) La actividad de una muestra radiactiva es proporcional al número de átomos que contiene. La muestra de tritio consta inicialmente de $1,2 \times 10^{11}$ átomos de tritio.

Determine, a partir de su respuesta a (e)(ii), el número de átomos de tritio que quedarán pasados 30 días. [2]

B1. Part 1 Nuclear reactions and radioactive decay

- (a) (i) nuclides/atom/element/nucleus/nuclei that have same proton number/same element but different nucleon/neutron numbers / *OWTTE*; [1]
- (ii) the time taken for the activity (of a radioactive sample) to decrease by half / the time taken for half the (initial) number of radioactive nuclei/atoms/mass to decay; [1]
- (b) (i) 2; [1]
- (ii) (mass difference =) $7.0160 - [3.0161 + 4.0026] = (-) 2.7 \times 10^{-3} \text{ u}$;
(energy required =) $(-) 2.7 \times 10^{-3} \times 931.5$ *or* 2.5151 MeV ;
($\approx 2.5 \text{ MeV}$) [2]
Allow unit conversions via mass and mc^2 .
- (c) 2.5MeV must be converted to mass (in the interaction) / otherwise the products would not be moving;
(to conserve momentum) final products must have total momentum equal to that of incoming neutron (so extra energy is required) / *OWTTE*; [2]
- (d) ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + \beta^- + \bar{\nu}$
 β^- *or* ${}^0_{-1}\text{e}$ *or* e^- *or* electron *or* beta particle;
 $\bar{\nu}$ *or* ${}^0_0\bar{\nu}$ *or* antineutrino; [2]
Allow answers in either order.

(e) (i)



five correct data points;
smooth curve through data points;

[2]

(ii) 1.4×10^4 Bq;

[1]

Allow correct reading from mis-drawn graph ± 0.1 .

(iii) number of atoms left = $\frac{1.2 \times 10^{11} \times 1.4}{8}$ or uses proportion or uses

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t; \text{ (with correct values)}$$

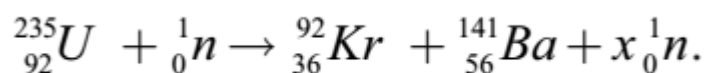
$$2.1 \times 10^{10};$$

Award [2] for a bald correct answer.

[2]

6. Producción de energía en la fisión nuclear

(a) Una posible reacción de fisión es



(i) Indique el valor de x. [1]

(ii) Demuestre que la energía liberada cuando un núcleo de uranio experimenta fisión, según la reacción de (a), es aproximadamente 2.8×10^{-11} J. [4]

Masa del neutrón = 1,00867u

Masa del núcleo de U-235 = 234,99333u

Masa del núcleo de Kr-92 = 91,90645 u

Masa del núcleo de Ba-141 = 140,88354u

(iii) Indique cómo la energía de los neutrones producidos en la reacción de (a) es comparable a la energía del neutrón que inició la reacción. [1]

(b) Resuma el papel del moderador. [2]

(c) Una central nuclear que utiliza U-235 como combustible tiene una potencia útil de salida de 16MW y un rendimiento del 40%. Suponiendo que cada fisión de U-235 da lugar a $2,8 \times 10^{-11}$ J de energía, determine la masa de combustible U-235 utilizado cada día. [4]

B3. Part 1 Production of energy in nuclear fission

(a) (i) 3; [1]

(ii) $\Delta m = 234.99333 - 91.90645 - 140.88354 - [2 \times 1.00867]$;
 $= 0.186(\text{u})$;
 energy released $= 0.186 \times 931 = 173(\text{MeV})$;
 $173 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}$;
 $(= 2.768) \approx 2.8 \times 10^{-11}(\text{J})$ [4]

or

$\Delta m = 234.99333 - 91.90645 - 140.88354 - [2 \times 1.00867]$;
 $= 0.186(\text{u})$;
 mass converted $= 0.186 \times 1.66 \times 10^{-27} (= 3.09 \times 10^{-28})$;
 (use of $E = mc^2$) energy $= 3.09 \times 10^{-28} \times 9 \times 10^{16}$;
 $(= 2.77) \approx 2.8 \times 10^{-11}(\text{J})$

Award [2 max] if mass difference is incorrect.

Award [3 max] if the candidate uses a value for x inconsistent with (a)(i).

(iii) greater/higher energy; [1]

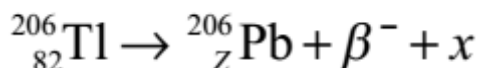
(b) reduces neutron speed to (thermal) lower speeds;
 so that chance of initiating fission is higher; [2]
Accept "fast neutrons cannot cause fission" for 2nd marking point.

(c) 40 % efficient so 40 (MW) required;
 $\frac{40 \times 10^6}{2.8 \times 10^{-11}} = 1.43 \times 10^{18}$ per second;
 number of fissions per day $= 1.23 \times 10^{23}$;
 $\left(= \frac{1.23 \times 10^{23} \times 235}{6 \times 10^{23}} \right) = 48 \text{ g per day};$ [4]

7. Desintegración radiactiva y energía de enlace

(a) Describa qué se entiende por desintegración radiactiva. [2]

(b) Un núcleo de thallium-206 (Tl-206) sufre una desintegración radiactiva que da lugar a un núcleo de plomo-206 (Pb-206). En la siguiente ecuación de reacción, identifique el número de protones Z del plomo y la partícula x. [2]



Z:

x:

(c) La masa de un núcleo de Tl-206 es de 191870MeVc^{-2} . Determine la energía de enlace por nucleón del Tl-206.[4]

(d) Indique por qué la energía de enlace del Pb-206 es mayor que la del Tl-206. [1]

Part 2 Radioactive decay and binding energy

(a) unstable nuclei/nuclides change spontaneously/randomly/emit energy;
by the emission of alpha particles and/or electrons { accept α , β and γ
and/or gamma rays; particles/radiation) [2]
To award [2 max] reference must be made to nuclei/nuclides and to spontaneously/randomly.

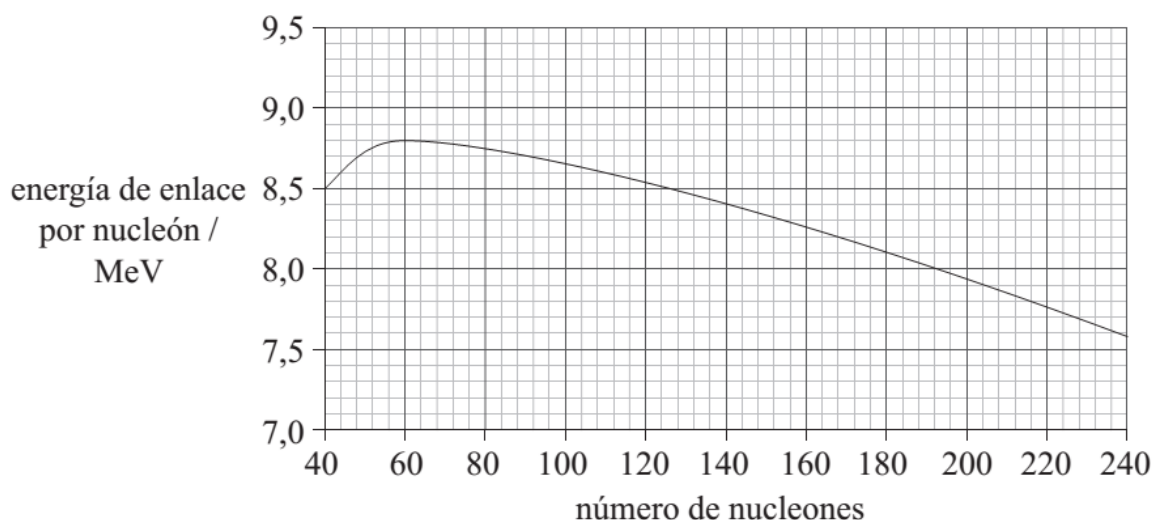
(b) Z: 18 **or** 20;
x: neutrino/ ν / ${}^0_0\nu$ / antineutrino/ $\bar{\nu}$ / ${}^0_0\bar{\nu}$; [2]
Please note: that β^+ decay is not in the SL core, only β^- so accept answers in terms of β^- decay and mark any combination correct.

(c) mass of 81 protons = $(81 \times 938) = 75978 \text{ MeVc}^{-2}$;
mass of 125 neutrons = $(125 \times 940) = 117500 \text{ MeVc}^{-2}$;
mass difference = $75978 + 117500 - 191870 = 1608 \text{ MeVc}^{-2}$;
binding energy per nucleon = 7.81 MeV ; [4]

(d) energy is released in the decay of Tl-206 / energy released is the difference in binding energies / decay is spontaneous / Pb-206 is more stable than Tl-206; [1]

8. Fisión y fusión nucleares

(a) La gráfica muestra la variación de la energía de enlace por nucleón, para núclidos con un número de nucleones mayor que 40.

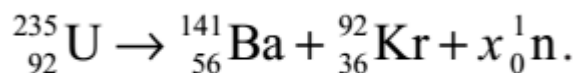


(i) Defina *energía de enlace*. [1]

(ii) Sobre la gráfica, rotule con la letra S la posición del núclido más estable. [1]

(iii) Indique por qué el núclido que ha rotulado es el más estable. [1]

(b) En un reactor nuclear, un núcleo de uranio (U)-235 se fisiona en bario(Ba)-141 y kriptón(Kr)-92. La ecuación para esta fisión es



(i) Utilice la gráfica para demostrar que la fisión de un núcleo de uranio-235 liberará aproximadamente 200MeV de energía. [4]

(ii) Indique el valor de x en la ecuación. [1]

(iii) El defecto de masa en esta reacción es $3,1 \times 10^{-28}\text{kg}$. Calcule el número de núcleos de uranio-235 que deben fisionarse para que se libere 1,0kJ de energía. [2]

(iv) Resuma cómo esta reacción de fisión puede conducir a una reacción en cadena. [2]

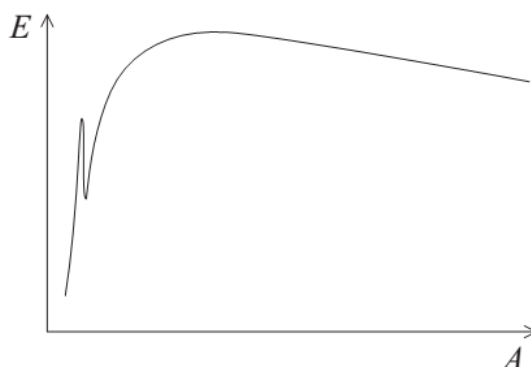
(c) Se está dedicando un intenso esfuerzo científico para desarrollar la fusión nuclear como una futura fuente de energía. Discuta cuáles podrían ser los beneficios sociales y para el medio ambiente que se derivarían del uso de la fusión nuclear, en comparación con la fisión nuclear como fuente de energía. [3]

B3. Part 1 Nuclear fission and fusion

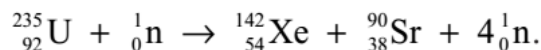
- (a) (i) the energy released when nuclides form from constituents / energy required to separate nucleus into separate nucleons / *OWTTE*; [1]
- (ii) S marked at maximum of curve (on curve/axis); (*judge by eye*) [1]
- (iii) highest binding energy per nucleon; [1]
- (b) (i) uranium binding energy per nucleon = 7.6(MeV) (± 0.1);
total uranium binding energy = $7.6 \times 235 = 1786$ (MeV);
total Kr + Ba binding energy = $141 \times 8.4 + 92 \times 8.7 = 1985$ (MeV);
energy released = $1985 - 1786 = 198.8$ (MeV);
 ≈ 200 MeV [4]
- (ii) 2; [1]
- (iii) one reaction: $\Delta E = 3.1 \times 10^{-28} \times [3 \times 10^8]^2 (= 2.8 \times 10^{-11} \text{ J})$;
number required = $\frac{1000}{2.8 \times 10^{-11}} = 3.6 \times 10^{13}$; [2]
- (iv) two neutrons produced may cause two further fissions;
producing four neutrons which may produce four further fissions;
*Accept answer in diagram form but it must feature four generated neutrons with **only** two neutrons giving further fission.* [2]
- (c) nuclear fusion waste much less active than fission waste;
fusion fuel much more abundant than fission fuel;
fusion fuel has higher energy density than fission;
radiation/pollution from plant lower for fusion; [3 max]

9. Desintegración nuclear

- (a) (i) Describa el fenómeno de la desintegración radiactiva natural. [3]
- (ii) Durante la desintegración radiactiva se emite radiación ionizante. Explique qué se entiende por radiación ionizante. [2]
- (b) El siguiente esbozo de gráfica muestra la variación con el número másico (número de nucleones), A, de la energía de enlace por nucleón, E, de los núcleos.



Una posible reacción nuclear, que ocurre cuando se bombardea uranio-235 con un neutrón para dar lugar a xenón-142 y estroncio-90, se representa como



- (i) Identifique el tipo de reacción nuclear representada arriba. [1]
 (ii) Sobre la gráfica anterior, identifique mediante sus símbolos las posiciones aproximadas de los núcleos de uranio (U), xenón (Xe) y estroncio (Sr). [2]
 (iii) A continuación se dan datos de las energías de enlace del xenón-142 y del estroncio-90.

isótopo	energía de enlace / MeV
xenón-142	1189
estroncio-90	784,8

La energía total liberada durante la reacción es de 187,9 MeV. Determine la energía de enlace por nucleón de uranio-235 [3]

- (iv) Indique por qué no se menciona la energía de enlace de los neutrones formados en la reacción. [1]

B3. Part 2 Nuclear decay

- (a) (i) emission of particles and/or e.m. radiation from unstable nucleus;
 not affected by temperature/environment / is spontaneous process;
 constant probability of decay (per unit time) / is random process;
 activity/number of unstable nuclei in sample reduces exponentially;
 daughter nucleus is (energetically) more stable; [3 max]
- (ii) electron(s) ejected from (neutral) atoms;
 to form positively and negatively charged particles; (do not allow "ions") [2]
- (b) (i) fission; [1]
- (ii) **N.B.** positions may be marked on line or on x-axis.
 U shown near right-hand end of line;
 Sr and Xe shown between U and the peak with Sr to the left of Xe; [2]
- (iii) total binding energy of uranium = $1189 + 784.8 - 187.9$;
 $= 1785.9 \text{ MeV}$;
 binding energy per nucleon = $\left(\frac{1785.9}{235}\right) = 7.60 \text{ MeV}$; [3]
 Allow unit as MeV or MeV per nucleon.
 Accept answer in Joules e.g. $1.22 \times 10^{-12} \text{ J}$.
- (iv) binding energy is zero because neutrons are separate particles; [1]

