

Problemas & Resoluciones de **FÍSICA NUCLEAR**

(Física, PAU-UNED 2013 & 14, «**NUC**»)

- **CONTENIDOS:** En la tabla siguiente, los problemas del año 2013 aparecen con los nombres **NUC-01** a **NUC-14**. Los del 2014 se corresponden con **NUC'-15** a **NUC'-29**.

La página referida para los problemas del 2013 se refiere al Dossier de la Academia; la de los problemas del 2014 se corresponde al pdf de la web en el cual están todos los enunciados y soluciones de este año ordenados.

El contenido temático de cada problema se especifica en la columna de “Comentarios”.

Los años 2013 y 2014 aparecieron sólo 14 tipos diferentes de problema, representados por los que están en negrita en la tabla: **NUC-01**, **NUC-02**, **NUC-03**, **NUC-06**, etc.

NOMBRE	mod.	op.	probl.	pág.	Comentarios
NUC-01	1	B	4	100	<i>E_enlace</i>
NUC-02	2	B	4	103	Estab nucl; Secuencia desint
NUC-03	3	B	4	106	<i>E liberada</i>
NUC-04	4	A	4	108	idéntico a NUC-01
NUC-05	6	B	4	115	idéntico a NUC-02
NUC-06	7	B	4	117	Ley desint
NUC-07	9	B	4	132	idéntico a NUC-03
NUC-08	10	B	4	135	idéntico a NUC-06
NUC-09	11	A	4	122	Rads α β γ (concep); Estab nucl
NUC-10	12	A	4	124	idéntico a NUC-06
NUC-11	16	B	4	140	similar a NUC-03
NUC-12	17	B	4	143	idéntico a NUC-11
NUC-13	18	A	4	145	similar a NUC-06
NUC-14	19	B	4	148	Concepts: Rads α β γ ; Estab nucl
NUC'-15	1	A	4	3	Rads α β ; Secuencia desint
NUC'-16	2	B	4	11	<i>E_enlace</i>
NUC'-17	3	B	4	19	similar a NUC'15
NUC'-18	4	A	4	26	idéntico a NUC'-16
NUC'-19	6	A	4	41	<i>E liberada; f_fotón</i>
NUC'-20	7	B	4	50	<i>E liberada</i>
NUC'-21	9	B	4	64	idéntico a NUC'-20
NUC'-22	10	B	4	72	idéntico a NUC'-19
NUC'-23	11	A	4	79	Ley desint

NUC'-24	12	B	4	89	idéntico a NUC'-23
NUC'-25	13	B	4	97	<i>E_enlace</i> (concep)
NUC'-26	14	B	4	106	idéntico a NUC'-25
NUC'-27	16	A	4	122	Ley desint
NUC'-28	18	A	4	138	idéntico a NUC'-27
NUC'-29	20	B	4	154	<i>E_enlace</i> (del último neutrón)

► **NUC-01** [m01—B4; *pág.100*]

4. Calcular la energía de enlace nuclear del ${}^6_3\text{Li}$ sabiendo que la masa del núcleo es 6,01348 u. (2,5 puntos)

Datos: $m_p = 1,00728$ u, $m_n = 1,00867$ u, $c^2 = 931,5$ MeV/u.

Solución

La energía liberada es obtenida a partir del defecto másico:

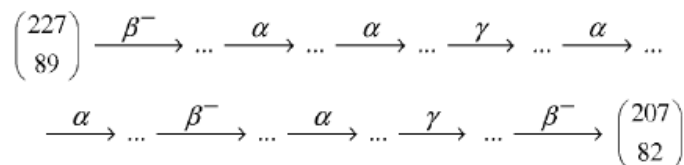
$$E = -\Delta m \times c^2 = (3 \times m_p + 3 \times m_n - m_{\text{Li}})c^2 = 32,02 \text{ MeV}$$

► **NUC-02** [m02—B4; *pág.103*]

4. Responder a las siguientes cuestiones sobre física nuclear:

- Explicar razonadamente por qué a medida que aumenta el número atómico en átomos estables, aumenta la fracción entre el número de neutrones y el número de protones. (1 punto)

- Complétese los números atómicos y másicos de los elementos que intervienen en la siguiente secuencia de desintegraciones radiactivas. Los elementos están representados mediante la pareja $\begin{pmatrix} A \\ Z \end{pmatrix}$. Recordamos que en la desintegración β^- se emiten electrones. (2 puntos)



Solución

La relación entre el número de protones y el de neutrones es clave para la estabilidad del núcleo. A medida que los átomos son más pesados (Z aumenta), es necesario un mayor número de neutrones para conseguir que las fuerzas atractivas hadrónicas compensen las fuerzas de repulsión eléctrica entre los protones, y de esa forma conseguir que el núcleo sea estable.

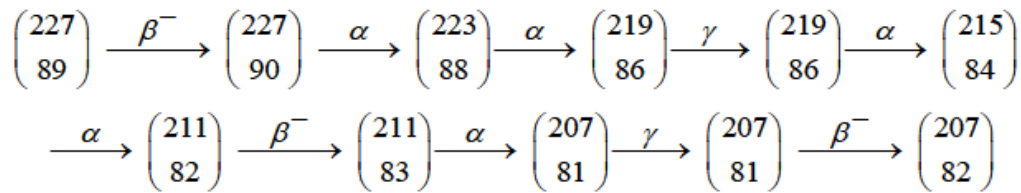
2ª cuestión:

Debemos tener en cuenta que:

$$\text{Desintegración } \alpha : \begin{pmatrix} A \\ Z \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} A-4 \\ Z-2 \end{pmatrix}$$

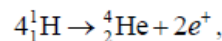
$$\text{Desintegración } \beta^- : \begin{pmatrix} A \\ Z \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} A \\ Z+1 \end{pmatrix}$$

$$\text{Desintegración } \gamma : \begin{pmatrix} A \\ Z \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} A \\ Z \end{pmatrix}$$



► **NUC-03** [m03—B4; [pág.106](#)]

4. Calcular la energía liberada en la reacción de fusión de cuatro núcleos de hidrógeno para formar un núcleo de helio:



sabiendo que la masa del núcleo ${}^4_2\text{He}$ es 4,0015 u, la masa del núcleo ${}^1_1\text{H}$ es 1,0073 u y la masa del positrón e^+ es $5,49 \times 10^{-4}$ u. (2,5 puntos)

Datos: $c^2 = 931,5 \text{ MeV/u}$.

Solución

$$Q = -\Delta m \times c^2 = (m_i - m_f)c^2 = (4m_p - m_{{}_2^4\text{He}} - 2m_{e^+})c^2 = 24,7 \text{ MeV}$$

► **NUC-04** [m04—A4; [pág.108](#)]



El enunciado de este problema es idéntico al del **NUC-01**

► **NUC-05** [m06—B4; [pág.115](#)]



El enunciado de este problema es idéntico al del **NUC-02**

► **NUC-06** [m07—B4; [pág.117](#)]

4. Una fuente radiactiva tiene un periodo de semidesintegración de 1 minuto. En el tiempo $t = 0$ se observa que la fuente tiene una actividad (número de desintegraciones por unidad de tiempo) de 2000 desintegraciones/s. Determinar el número de núcleos que se han desintegrado al cabo de 2 minutos. (2,5 puntos)

Solución

El número de núcleos N de una muestra varía en el tiempo como

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

Por otro lado, la actividad de la muestra es

$$A(t) = \lambda N(t).$$

En nuestro caso, en el instante inicial tenemos

$$A_0 = \frac{\ln 2}{T} N_0 \rightarrow N_0 = \frac{TA_0}{\ln 2} = 1,73123 \times 10^5 \text{ núcleos.}$$

Al cabo de 2 minutos tendremos

$$N(t=2) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-2 \ln 2} = \frac{N_0}{4},$$

De modo que se han desintegrado $\frac{3N_0}{4} = 129843$ núcleos.

► **NUC-07** [m09—B4; [pág.132](#)]



El enunciado de este problema es idéntico al del **NUC-03**

► **NUC-08** [m10—B4; [pág.135](#)]



El enunciado de este problema es idéntico al del **NUC-06**

► **NUC-09** [m11—A4; [pág.122](#)]

4. Responder a las siguientes cuestiones sobre física nuclear:

- Supongamos que tenemos tres especies radiactivas y sabemos que cada una emite un tipo distinto radiación: α , β^- y γ , pero no sabemos el tipo de desintegración de cada una. Si hacemos pasar cada radiación por un campo magnético perpendicular a la dirección de emisión, ¿esto nos ayudará a discriminar el tipo de radiación emitida por cada fuente? Razonar la respuesta. (1,5 puntos)

- ¿Qué núcleo será más estable, el ${}^3_1\text{H}$ (tritio) o el ${}^3_2\text{He}$ (helio)? Razonar la respuesta. (1,5 puntos)

Solución

Es evidente que sí, puesto que la radiación alfa está compuesta por partículas con carga positiva (núcleos de He), la radiación beta por partículas con carga negativa (electrones) y la radiación gamma por fotones sin carga. En los dos primeros casos, las fuerzas que experimentarán las partículas de las radiaciones, debidas al campo magnético, tendrán sentidos opuestos (por tener cargas opuestas) y distinto módulo (por tener diferente carga neta), de modo que unas partículas se desviarán en un sentido y las otras en otro (describiendo además circunferencias con distintos radios por tener masa y carga netas diferentes), mientras que la dirección de los fotones sin carga de la radiación gamma no se verá afectada.

2ª cuestión:

El núcleo de helio consta de dos protones y un neutrón, mientras que el núcleo de tritio está formado por dos neutrones y un protón. Será más fácil romper el núcleo del helio debido a la repulsión coulombiana entre los dos protones, por lo que será más estable el núcleo de tritio.

► **NUC-10** [m12—A4; [pág. 124](#)]



El enunciado de este problema es idéntico al del **NUC-06**

► **NUC-11** [m16—B4; [pág. 140](#)] (Nota: parecido al **NUC-03**)

4. Calcular la energía liberada en la fusión de dos núcleos de deuterio para dar un núcleo de helio: $2\text{}^2_1\text{H} \rightarrow \text{}^4_2\text{He}$. (2,5 puntos)

Datos: $m_{{}^2_1\text{H}} = 2,01355 \text{ u}$; $m_{{}^4_2\text{He}} = 4,00150 \text{ u}$; $c^2 = 931,5 \text{ MeV/u}$.

Solución

$$Q = -\Delta m \times c^2 = (2 \times 2,01355 - 4,00150) \times 931,5 = 23,85 \text{ MeV}$$

► **NUC-12** [m17—B4; [pág. 143](#)]



El enunciado de este problema es idéntico al del **NUC-11**

► **NUC-13** [m18—A4; [pág. 145](#)] (Nota: parecido al **NUC-06**)

4. Una sustancia radiactiva tiene un periodo de semidesintegración de 10 minutos. En el tiempo $t = 1 \text{ min}$ se observa que una cierta cantidad de esa sustancia tiene una actividad (número de desintegraciones por unidad de tiempo) de 100 desintegraciones/s. Determinar la actividad de la fuente al cabo de 5 minutos. (2,5 puntos)

Solución

La actividad de una muestra varía como

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

En $t = 1 \text{ min}$ tenemos

$$A(t = 1) = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{10}} = 100 \rightarrow A_0 = 100 e^{\frac{\ln 2}{10}} = 107,2 \text{ Bq}$$

y al cabo de 5 min:

$$A(t = 5) = 107,2 e^{-\frac{\ln 2}{2}} = 75,79 \text{ Bq}$$

► **NUC-14** [m19—B4; [pág.148](#)]

4. Responder razonadamente a las siguientes preguntas sobre física nuclear:

- Supongamos que tenemos tres especies radiactivas y sabemos que cada una emite un tipo distinto radiación: α , β^- y γ ; pero no sabemos el tipo de desintegración de cada una. Si hacemos pasar cada radiación por un campo eléctrico perpendicular a la dirección de emisión, ¿esto nos ayudará a distinguir el tipo de radiación emitida por cada fuente? Razonar la respuesta. (1,5 puntos)

- Sabiendo que en núcleos pesados como el uranio el número de neutrones es aproximadamente el doble que el de protones, y que en los núcleos estables más ligeros la relación es de 1 a 1, ¿qué tipo de tipo de emisiones son esperables durante la fisión de núcleos pesados a núcleos estables? Escoger la opción correcta y razonar la elección. (1,5 puntos)

- a) Neutrones y partículas β^- (electrones)
- b) Neutrones y partículas α
- c) Protones y partículas α
- d) Sólo partículas α

Solución

Es evidente que sí, puesto que la radiación alfa está compuesta por partículas con carga positiva (núcleos de He), la radiación beta por partículas con carga negativa (electrones) y la radiación gamma por fotones sin carga. En los dos primeros casos, las fuerzas que experimentarán las partículas de las radiaciones, debidas al campo eléctrico, tendrán sentidos opuestos (por tener cargas opuestas) y distinto módulo (por tener diferente carga neta), de modo que unas partículas se desviarán en un sentido y las otras en otro, mientras que la dirección de los fotones sin carga de la radiación gamma no se verá afectada.

2ª cuestión:

El proceso de fisión de un núcleo pesado como el uranio debe dar lugar a núcleos más ligeros en los que el número de protones se iguale al número de neutrones. Esto implica disminuir el número de neutrones (emitiendo radiación de neutrones, por ejemplo), y aumentar el número de protones a costa de disminuir el de neutrones (radiación beta). La respuesta correcta será, por tanto, la a).

► **NUC'-15** [m01—A4; [pág.3](#)]

4. Calcular el número total de emisiones α y β que permitirían completar la transmutación de ${}_{92}^{235}\text{X}$ a ${}_{82}^{207}\text{Y}$. (2,5 puntos)

Solución

La variación del número másico nos permite obtener el número de emisiones α , ya que éste no varía durante las emisiones beta. Así pues tenemos que

$$235 - 4x = 207 \rightarrow 7 \text{ emisiones } \alpha.$$

Después de esas 7 emisiones α el número atómico debería haber disminuido en 14 unidades, y sin embargo ha disminuido en 10 unidades, lo que significa que ha debido experimentar como mínimo 4 emisiones β .

► **NUC'-16** [m02—B4; [pág.11](#)]

4. Un átomo de He-4 está compuesto por dos electrones y un núcleo con dos protones más dos neutrones. Calcular la energía liberada (o energía de enlace) en la síntesis de este átomo a partir de sus constituyentes. (2,5 puntos)

Datos: $m_{\text{He-4}} = 4,002603 \text{ u}$; $m_p = 1,00728 \text{ u}$; $m_n = 1,00867 \text{ u}$; $m_e = 0,000549 \text{ u}$; $c^2 = 931,5 \text{ MeV/u}$.

Solución

La energía liberada es obtenida a partir del defecto másico:

$$E = -\Delta m \times c^2 = (2 \times m_p + 2 \times m_n + 2 \times m_e - m_{\text{He-4}}) c^2 \\ = 0,030398 \times 931,5 \text{ MeV} = 28,32 \text{ MeV}$$

► **NUC'-17** [m03—B4; [pág.19](#)] (Nota: parecido al **NUC'-15**)

4. Calcular el número total de emisiones α y β que permitirían completar la transmutación de ${}_{92}^{249}\text{X}$ a ${}_{86}^{233}\text{Y}$. (2,5 puntos)

Solución

La variación del número másico nos permite obtener el número de emisiones α , ya que éste no varía durante las emisiones beta. Así pues tenemos que

$$249 - 4x = 233 \rightarrow 4 \text{ emisiones } \alpha.$$

Después de esas 4 emisiones α el número atómico debería haber disminuido en 8 unidades, y sin embargo ha disminuido en 6 unidades, lo que significa que ha debido experimentar como mínimo 2 emisiones β .

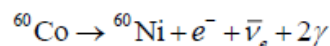
► **NUC'-18** [m04—A4; [pág.26](#)]



El enunciado de este problema es idéntico al del **NUC'-16**

► **NUC'-19** [m06—A4; [pág.41](#)]

4. La radiación gamma emitida durante la desintegración beta del ${}^{60}\text{Co}$ se utiliza frecuentemente en el tratamiento del cáncer. El cobalto ${}^{60}\text{Co}$ decae a ${}^{60}\text{Ni}$ mediante la siguiente desintegración beta, emitiendo dos fotones γ (radiación gamma):



- Despreciando la masa del electrón e^- y la del antineutrino $\bar{\nu}_e$, calcular la energía liberada en la desintegración. (1,5 puntos)

- De esa energía liberada, una parte aparece en forma de energía cinética de las partículas beta y el resto en forma de dos fotones gamma. Sabiendo que la energía cinética de las partículas beta es de 325 keV, calcular la frecuencia de los dos fotones emitidos suponiendo que son iguales. (1,5 puntos)

Datos: $m_{{}^{60}\text{Co}} = 59,93382 \text{ u}$; $m_{{}^{60}\text{Ni}} = 59,9307864 \text{ u}$; $c^2 = 931,5 \text{ MeV/u}$;
 $h = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$.

Solución

- Despreciando la masa del electrón y la del antineutrino, tenemos que la energía liberada en la desintegración es

$$Q_{\beta^-} = (m_{\text{Co}} - m_{\text{Ni}})c^2 = (59,93382 - 59,9307864) \times 931,5 = 2,826 \text{ MeV}.$$

Como

$$Q_{\beta^-} = E_c(e^-) + 2E_\gamma \rightarrow E_\gamma = \frac{1}{2}(Q_{\beta^-} - E_c(e^-)) = 1,25 \text{ MeV},$$

por lo que en cada desintegración se producen dos fotones con energías 1,25 MeV. La frecuencia de cada fotón será

$$\nu = \frac{E_\gamma}{h} = 3,02 \times 10^{20} \text{ Hz}$$

► **NUC'-20** [m07—B4; [pág.50](#)]

4. Calcular la energía liberada en la reacción nuclear $\text{O} + \text{O} \rightarrow \text{He} + \text{Si}$ sabiendo que la masa nuclear del O es 15,99491 u, la del Si es 27,97693 u y la del He es 4,00260 u. (2,5 puntos)

Datos: $c^2 = 931,5 \text{ MeV/u}$

Solución

La energía de la desintegración vale

$$Q = -\Delta m c^2 = (2m_{\text{O}} - m_{\text{He}} - m_{\text{Si}})c^2 \\ = (2 \times 15,99491 - 27,97693 - 4,00260) \times 931,5 = 9,585 \text{ MeV}$$

► **NUC'-21** [m09—B4; [pág.64](#)]



El enunciado de este problema es idéntico al del **NUC'-20**

► **NUC'-22** [m10—B4; [pág.72](#)]



El enunciado de este problema es idéntico al del **NUC'-19**

► **NUC'-23** [m11—A4; [pág.79](#)]

4. La actividad inicial de una muestra radiactiva es de 15 desintegraciones por minuto. Calcular el tiempo que ha transcurrido para que la actividad disminuya a 2 desintegraciones por minuto sabiendo que el periodo de semidesintegración es de 5730 años. (2,5 puntos)

Solución

La actividad de una muestra varía como

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

Despejando tenemos

$$t = \frac{T}{\ln 2} \ln \left(\frac{A_0}{A(t)} \right) = 16656 \text{ años}$$

► **NUC'-24** [m12—B4; [pág.89](#)]



El enunciado de este problema es idéntico al del **NUC'-19**

► **NUC'-25** [m13—B4; [pág.97](#)]

4. Escoger la opción que mejor responde a la pregunta: ¿por qué las reacciones nucleares de fusión y fisión liberan tanta energía? Razonar la elección. (2 puntos)

a) En realidad, las reacciones en sí mismas no liberan energía puesto que en el caso de la fisión es necesario bombardear los núcleos pesados con partículas muy energéticas (como los neutrones), mientras que en el caso de la fusión es necesario utilizar partículas también muy energéticas, como las partículas alfa.

b) Porque la masa total en reposo de los productos de la reacción es significativamente mayor que la de los reactivos.

c) Porque la energía de enlace (o energía de ligadura) por nucleón en los productos de la reacción es considerablemente mayor que la energía de enlace en los reactivos.

d) Porque las reacciones de fisión y fusión son, en realidad, desintegraciones radiactivas en las que se produce la emisión espontánea de radiaciones muy energéticas.

Solución

Las respuestas (a) y (b) son incorrectas. La fusión consiste en la reacción de núcleos muy ligeros para dar núcleos más pesados. Como estamos en la parte creciente (rama izquierda) de la Carta de Segré y A aumenta, la energía de enlace por nucleón aumentará con la fusión, por lo que se liberará energía. En la fisión, un núcleo muy grande se divide en dos núcleos intermedios. Estamos en la rama derecha de la Carta de Segré y como A disminuye, la energía de enlace por nucleón aumentará durante la fisión, por lo que se liberará energía.

Los núcleos producidos en las reacciones de fisión y fusión son más estables que los núcleos que participan en la reacción. En estas reacciones, la masa en reposo de los productos de la reacción disminuye (opción (b) falsa) y la energía de enlace por nucleón aumenta. Esta disminución de masa aparece en forma de energía liberada durante la reacción. La respuesta correcta es la (c).

► **NUC'-26** [m14—B4; [pág.106](#)]



El enunciado de este problema es idéntico al del **NUC'-25**

► **NUC'-27** [m16—A4; [pág.122](#)]

4. El núcleo de ^{60}Co se desintegra radiactivamente con un período de semidesintegración de 5,27 años, emitiendo dos fotones gamma de energía 1,33 MeV cada uno. Supongamos que tenemos un conjunto de 10^{23} núcleos de ^{60}Co , y que este número es constante en el tiempo. Calcular la energía total emitida por el conjunto de núcleos en cada segundo. (2,5 puntos)

Solución

Como el número de núcleos es constante en el tiempo, también lo será su actividad

$$A = \lambda N = \frac{0,693}{T} N = 4,17 \times 10^{14} \frac{\text{desintegraciones}}{\text{s}}$$

Como en cada desintegración se liberan dos fotones con una energía de 1,33 MeV cada uno, la energía emitida por segundo será

$$4,17 \times 10^{14} \frac{\text{desintegraciones}}{\text{s}} \times 2,66 \frac{\text{MeV}}{\text{desintegración}} = 1,11 \times 10^{15} \frac{\text{MeV}}{\text{s}}$$

► **NUC'-28** [m18—A4; [pág.138](#)]



El enunciado de este problema es idéntico al del **NUC'-27**

► **NUC'-29** [m20—B4; [pág.154](#)]

4. Determinar la energía de enlace (o de ligadura) del último neutrón del ${}^4\text{He}$ sabiendo que las masas atómicas del ${}^4\text{He}$, ${}^3\text{He}$ y del neutrón son 4,002603 u, 3,016030 u, y 1,008665 u, respectivamente. (2,5 puntos)

Datos: $c^2 = 931,5 \text{ MeV/u}$.

Solución

La energía de ligadura del neutrón vendrá dada por la diferencia de energías entre el estado no ligado (energía del ${}^3\text{He}$ más energía del neutrón, ambos en reposo) y el estado neutrón-ligado (energía del ${}^4\text{He}$ en reposo):

$$E = -\Delta m \times c^2 = (m_{{}^3\text{He}} + m_n - m_{{}^4\text{He}}) c^2 = 20,6 \text{ MeV}$$