



2º de Bachillerato

Física

Contenidos

**Física del siglo XX:
Energía nuclear**

1. Introducción

Últimamente hay un juego en la red que te ofrece unas cuantas imágenes y te proponen que busques la palabra que las unen. Te proponemos una situación similar, fíjate bien en la siguiente galería de imágenes e intenta imaginar qué tienen en común.



Imagen de Fastfission en
Wikimedia. [CC0](#)

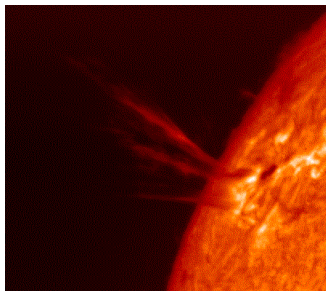


Imagen de Angeloleithold en
Wikimedia. [CC0](#)

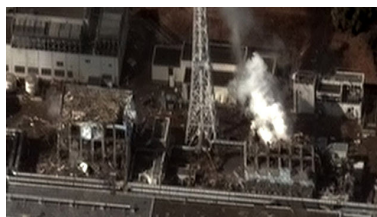


Imagen de Vanderdecken en
Wikimedia. [CC](#)



Imagen de Ainali en
Wikimedia. [CC](#)

Seguro que has caído en la cuenta que todas las imágenes presentan escenas en las que están en juego procesos nucleares. Uno de los principales objetivos de este tema consiste en llegar a comprender cómo ocurren estos procesos.

Pero debemos ir poco a poco repasando algunos conceptos de cursos anteriores.

Probablemente, ya sabes que la materia está constituida por átomos y que estos, a su vez, están constituidos por un núcleo y una corteza electrónica. Esta afirmación puede parecer hoy algo evidente, sobre todo si le haces caso a los profesores de Física. Pero la realidad es bien distinta. Nosotros, en ningún momento, tenemos una experiencia directa del átomo, así que imagina a la comunidad científica a lo largo de la historia intentando explicar las cosas de nuestro alrededor.

El problema fundamental es que ni nuestros sentidos ni nuestros instrumentos tienen una sensibilidad infinita, por lo que la esencia última de la estructura de los átomos sólo podemos plantearla de forma teórica, a través de modelos que sean capaces de explicar el mundo que nos rodea.

Sobre este asunto, el final del siglo XIX y el comienzo del siglo XX fue un período apasionante en el desarrollo de esta parte de la Física. En él, se sucedieron un conjunto de experiencias que modificaron por completo la visión que hasta ese momento se tenía de la estructura de la materia. Se iban heredando experiencias y los modelos atómicos que las iban explicando, hasta que aparecía algún nuevo experimento que ponía en cuestión el anterior.

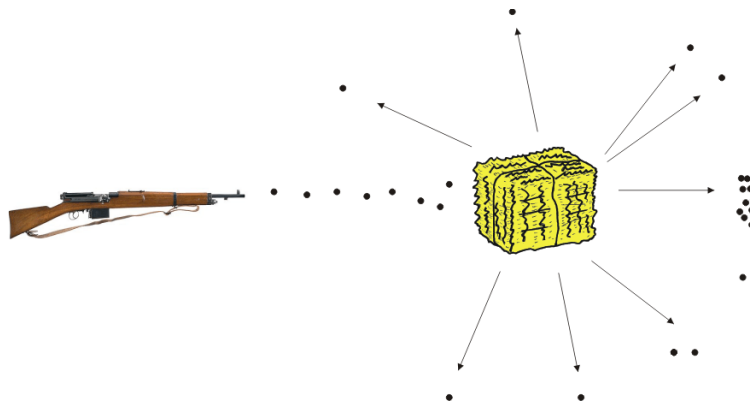
Entre todas las propuestas de estructura atómica conocidas, la propuesta de **Ernest Rutherford** planteaba por primera vez la existencia de un núcleo en el interior de los átomos. Podemos afirmar que, con el Modelo atómico de Rutherford, nació la física nuclear.

Aquí comienza tu andadura por esta increíble rama del saber y comprenderás por qué estamos seguros de la existencia del núcleo atómico.

2. Experimento de Rutherford

Como ya habrás imaginado, la prueba irrefutable de la existencia del núcleo atómico se encuentra en la interpretación de un experimento realizado por Ernest Rutherford. El diseño consiste en encerrar en una cámara de plomo un material emisor de partículas alfa (de momento, sólo necesitas saber que las partículas alfa tienen carga positiva). La cámara sólo permite la salida de partículas por un pequeño orificio y, posteriormente, este haz de partículas es colimado dirigiéndose hasta una lámina de oro de un espesor aproximado de $5 \cdot 10^{-4}$ cm. A la salida de la lámina las partículas alfa se dirigen a una pantalla de sulfuro de cinc que registra cada uno de los impactos y el ángulo en el que lo hacen respecto de la dirección incidente.

Pensemos en un experimento imaginario en el que disparas perdigones contra una bala de paja. Observas que casi todos los perdigones atraviesan la bala sin desviarse, pero que cada cierto tiempo algunos se desvían (incluso alguno lo hace invirtiendo su trayectoria).



[Imagen de Juancarcole en Wikimedia Commons.](#) CC

¿Qué pensarías?. La respuesta parece fácil, los perdigones salen desviados porque han chocado contra algo (el núcleo) que hay en el interior de la bala. Además, puesto que la distribución de perdigones desviados es uniforme, podemos deducir que ese núcleo está en el centro, y como el número de perdigones desviado es pequeño en comparación con el total también podemos suponer que ese núcleo es muy pequeño en relación con la bala de paja.

Si analizas la situación presentada en las imágenes anteriores, seguramente llegues a la misma conclusión que Rutherford sobre el átomo. El modelo atómico que propone es:

- Un **núcleo**, donde reside la carga positiva (pocos años después se supo que allí se hallan localizados los protones, que tienen esta carga positiva), y la casi totalidad de la masa del átomo. El tamaño de este núcleo es aproximadamente la diezmilésima parte del átomo.
- La **corteza**, zona donde se localizan los electrones, que giran a alrededor del núcleo de forma similar a un sistema planetario de tal forma que, en un átomo neutro, el número de electrones debe compensar eléctricamente la carga del núcleo.

Hoy sabemos que la carga positiva del núcleo es proporcionada por el número de protones que contiene. Este hecho fue comprobado por Henry Moseley, ayudante de Rutherford, el cual demostró experimentalmente en 1913, analizando los rayos X emitidos por los átomos de diferentes elementos, la existencia de partículas con carga positiva en el núcleo de los átomos. El número de cargas positivas que existen en el núcleo es precisamente el utilizado para ordenar los diferentes elementos de la tabla periódica.

3. Partículas subatómicas

Ya sabes que el núcleo del átomo está formado por protones. Parece lógico pensar que la masa del núcleo atómico debe coincidir con la suma de las masas de los protones que lo constituyen. Sin embargo esto no es así, medidas precisas de la masa de los núcleos realizadas con el espectrógrafo de masas indican que la masa de los núcleos es mayor que la esperada al sumar la masa de sus protones. La explicación podría estar en la existencia de otra partícula que acompañe a los protones en el interior del núcleo de los átomos. El propio Rutherford ya había planteado ante la Royal Society en 1920 que en el núcleo atómico, además de los protones, debía haber otras partículas sin carga eléctrica.

El hecho de no poseer carga esas supuestas partículas planteadas por Rutherford impidieron su reconocimiento y fue en 1932, cuando James Chadwick demostró la existencia de estas partículas a las que denominó **neutrones** y se pudo establecer que tiene una masa parecida a la del protón.

Conocida la existencia del neutrón, podrás encontrar clarificador la siguiente tabla que resume las partículas elementales principales constituyentes de un átomo:

Partícula	Carga (C)	Masa (kg)
Electrón	$-1.6 \cdot 10^{-19}$	$9.1 \cdot 10^{-31}$
Protón	$1.6 \cdot 10^{-19}$	$1.6748 \cdot 10^{-27}$
Neutrón	0	$1.6725 \cdot 10^{-27}$

Para que hagas memoria, aquí tendrás que echar mano de algunos conceptos de años anteriores.

- Al número de protones que hay en un núcleo atómico se le llama **número atómico Z**.
- A la suma del número de protones (Z) y neutrones (N) de un núcleo se le llama **número másico A**. Obviamente **A=Z+N**

Cuando queremos representar un núcleo concreto de un elemento de símbolo X lo hacemos de la siguiente forma: A_ZX

El número atómico Z es un número muy importante porque identifica al elemento. Esto significa que, dado un elemento cualquiera del sistema periódico, podemos afirmar sin equivocación cuántos protones hay en el núcleo de cada uno de sus átomos. Sin embargo, no ocurre así con el número de neutrones, que puede variar de unos núcleos a otros del mismo elemento.

Esto hace que los átomos se puedan agrupar de forma más general según sea número atómico o su masa atómica. Las especies atómicas resultantes son más numerosas que los elementos y reciben el nombre de **NÚCLIDOS o NUCLEIDOS**. Lo siguiente es una forma de agrupar estos núclidos:

NÚCLIDOS	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLO
Isótopos	Igual número atómico y distinto número másico	${}^{39}_{19}K$ y ${}^{40}_{19}K$
Isótonos	Igual número de neutrones	${}^{23}_{11}Na$ y ${}^{24}_{12}Mg$
Isóbaros	Igual número másico	${}^{14}_6C$ y ${}^{14}_7N$

Para saber más

en este tema, basta con considerar sólo la existencia de protones y neutrones en el núcleo atómico, todo lo que necesitamos lo podemos explicar a partir de estas partículas.

Sin embargo, hoy sabemos que el núcleo atómico es una estructura mucho más compleja. Para empezar protones y neutrones no son partículas elementales sino que están formados por tres quarks cada uno que, a su vez, pueden ser de dos tipos, *up* (u) y *down* (d). Observa la figura y verás la composición de cada uno. Existen, además, cuatro tipos de quark

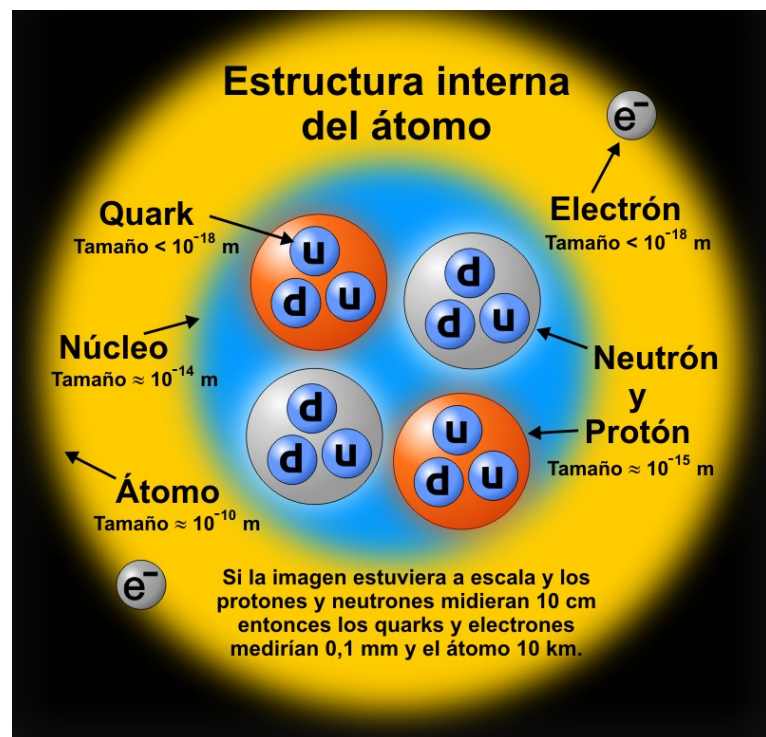


Imagen en Wikimedia Commons de [pjhgwiki](#). CC0

más: *strange* (s), *charmed* (c), *bottom* (b) y *top* (t).

Y esto sólo es el principio, en la actualidad se conocen cientos de partículas que se clasifican en dos grupos:

- **Leptones:** Son aquellas partículas que no se ven afectadas por la interacción nuclear fuerte, el electrón es un ejemplo.
- **Hadrones:** Se ven afectadas por la interacción fuerte. Pueden ser de dos tipos:
 - **Mesones:** Formados por un quark y un antiquark.
 - **Bariones:** Formados por un grupo de tres quarks como, por ejemplo, protones y neutrones.

Y por si esto fuera poco cada partícula tiene su antipartícula, que es otra con las mismas propiedades que la primera pero con carga eléctrica y momento angular opuestos.

Ya imaginarás que no podemos extendernos más. Como ves, la física nuclear constituye un mundo complejo y apasionante si decides profundizar en él.

4. Radiactividad natural y artificial

Vamos a dar un pequeño salto atrás en el tiempo para situarnos en 1896. En este año el físico francés A.H. Becquerel (1852-1908) observó cómo se impresionaban unas placas fotográficas que había guardado en un cajón envueltas en papel oscuro junto a un trozo de mineral de uranio. Enseguida se percató de que el uranio estaba emitiendo la radiación responsable de este fenómeno. Esta radiación era mucho más intensa que los rayos X (descubiertos un año antes por W.K. Roentgen).

Como ya puedes imaginar, Becquerel acababa de descubrir la radiactividad. Este descubrimiento animó a muchos científicos a estudiar este fenómeno de forma más detallada, obteniéndose nuevos elementos radiactivos. Entre el grupo de científicos de los que te hablamos destacó sobremanera Marie Curie.

Podemos definir la **radiactividad natural** como el fenómeno de emisión espontánea de radiación que presentan determinadas sustancias, capaz de penetrar en cuerpos opacos, ionizar el aire, impresionar placas fotográficas y excitar la fluorescencia de ciertas sustancias. Cuando el fenómeno no es espontáneo, sino inducido por alguna reacción nuclear, hablamos de **radiactividad artificial**.

Hoy sabemos que esta radiación procede de los núcleos de los átomos y puede ser de tres tipos:

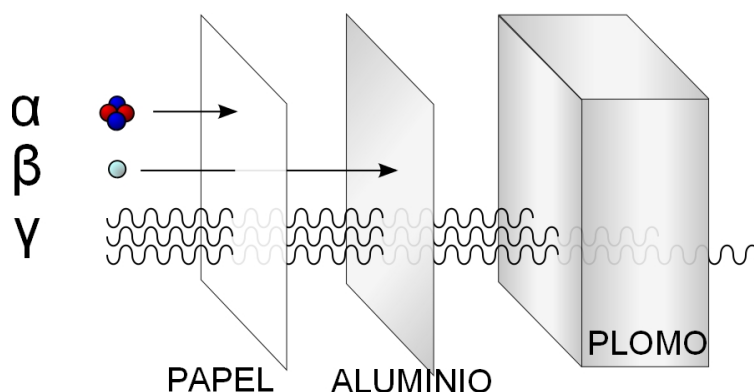


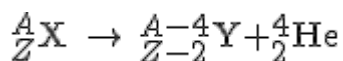
Imagen en Wikimedia Commons de [102orion](#) . CC

1. Radiación alfa (α): Es una radiación material formada por núcleos de Helio (partículas alfa), por lo que poseen carga positiva ($Q_\alpha = +2e$) y su masa es $M_\alpha = 2m_p + 2m_n$. La radiación alfa tiene un alto poder de ionización y bajo poder de penetración.
2. Radiación beta (β): Es una radiación material formada por electrones. Su poder de ionización es menor que el de las partículas alfa (son menos masivos) pero su poder de penetración es mayor.
3. Radiación gamma (γ): Es una radiación electromagnética de frecuencia muy alta, mayor que los rayos X.

4.1. Leyes de Soddy y Fajans

Estas leyes se refieren al proceso de transformación de unos núcleos en otros por la emisión de radiación de los primeros. Al núcleo emisor le llamamos padre y al residual hijo.

1ª ley: Cuando un núcleo emite una partícula α se transforma en otro cuyo número atómico ha disminuido en dos unidades y el número másico en cuatro.



Ejemplo

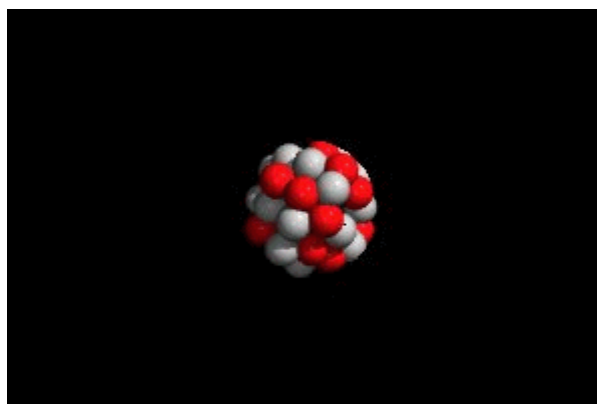
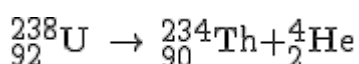
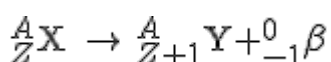


Imagen en [Proyectodescartes.org](https://proyectodescartes.org) bajo licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

2ª ley: Cuando un núcleo emite una partícula β se transforma en otro cuyo número atómico es una unidad mayor y el número másico permanece invariable.



Ejemplo

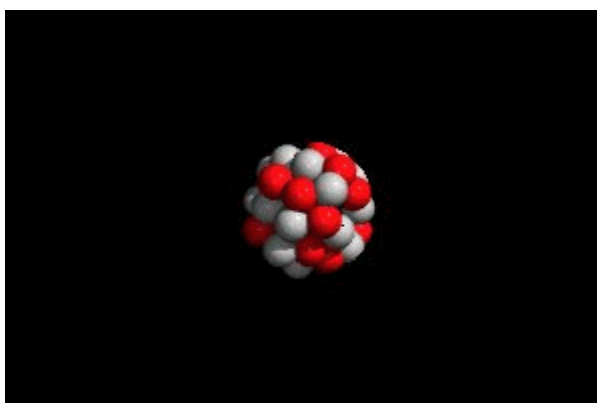
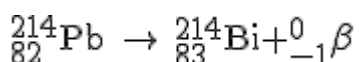
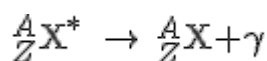


Imagen en [Proyectodescartes.org](https://proyectodescartes.org) bajo licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

3ª ley: La emisión de radiación gamma no modifica los números del núcleo padre. El núcleo emisor pasa de un estado excitado a otro más estable:



Ya ves que cuando un núcleo emite una partícula alfa o beta se transforma en otro. Generalmente este otro es también inestable, por lo que emitirá otra partícula (α o β) obteniéndose de nuevo otro núcleo inestable. Y así sucesivamente en un proceso de desintegración radiactiva se van formando núcleos inestables que finaliza cuando se obtiene al fin un núcleo estable, que suele ser un isótopo del plomo.

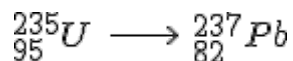
Existen cuatro series radiactivas: Th-232, U-238 y U-235 y Np-237. En cada serie todos los núcleos están relacionados, en la del Th-232, por ejemplo, todos los núcleos de la serie tienen números másicos iguales a $4n$, siendo n un número entero cualquiera. En la tabla siguiente expresamos las características de cada serie

Series radiactivas				
Nº másico	Cadena del	Padre	T (años)	Producto final
$4n$	Torio	Th-232	$1.41 \cdot 10^{10}$	Pb-208
$4n+1$	Neptunio	Np-237	$2.14 \cdot 10^6$	Pb-209
$4n+2$	Uranio-Radio	U-238		Pb-206

			$4.51 \cdot 10^9$	
$4n+3$	Uranio-Actinio	U-235	$7.18 \cdot 10^8$	Pb-208

Ejercicio resuelto

Calcular el número total de emisiones alfa y beta que permitirán completar la siguiente transmutación:



Mostrar retroalimentación

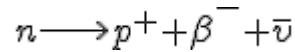
Puesto que la desintegración β no modifica el número másico, la reducción que observamos de 235 a 207 sólo puede estar provocada por la emisión de 7 partículas α (ya que esta emisión reduciría el número másico en $7 \times 4 = 28$ unidades). Ahora bien, la sola emisión de 7 partículas α produciría ${}_{95}^{235}\text{U} \longrightarrow {}_{81}^{207}\text{Tl}$. Puesto que el número atómico final es 82, esto implica que se ha emitido además una partícula β .

Por tanto la solución es 7 partículas α y 1 β ,

5. Interacciones fundamentales

Tal vez te hayas preguntado, al ver las características de la emisión β , cómo es posible que salgan electrones de un lugar en el que no debería haberlos (recuerda que las partículas β son electrones y el núcleo está formado por protones y neutrones).

La razón es que el proceso implica la transformación de un neutrón en un protón y un electrón (β). El proceso lo simbolizamos así:



donde $\bar{\nu}$ es una partícula, llamada antineutrino, que se postuló (antes de descubrirse) para que pudiera cumplirse el principio de conservación del momento lineal. ¡Imagina la satisfacción de los científicos cuando, años más tarde, se descubrió su existencia!

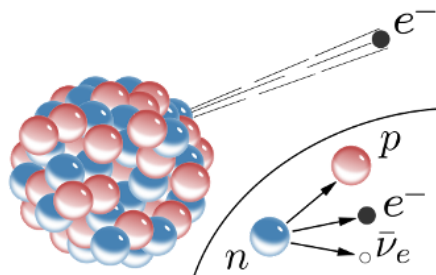


Imagen en Wikimedia Commons de [Inductiveload](#)
bajo licencia de [dominio público](#)

Para que ocurra la desintegración beta en el interior de un núcleo es preciso la intervención de una interacción, diferente a la gravitatoria y electromagnética, llamada **interacción débil**.



El conocimiento de las interacciones es fundamental en física. Todos los días estamos observando cambios a nuestro alrededor, y cada uno de estos cambios se debe al concurso de, por lo menos, una de las interacciones que conocemos.

- Todos los movimientos que observamos están afectados por la **interacción gravitatoria**, tanto si los observamos en la Tierra como si echamos la vista al cielo y observamos la evolución de los objetos celestes.
- Todos los fenómenos eléctricos y magnéticos son explicados por el concurso de la **interacción electromagnética**.
- En este tema hemos tenido que introducir las **interacciones nucleares fuerte y débil**. Aunque te pueda parecer que cada fenómeno de la naturaleza .

Aunque después de leer este tema te puede parecer que, cada vez que sea necesario, nos sacamos una nueva interacción de la manga, lo cierto es que no hay más. Las cuatro interacciones citadas son las únicas que explican todos los fenómenos observados en la naturaleza. Por ello se llaman **interacciones fundamentales**.

Por esta razón, este es un buen momento para hacer un breve esquema resumen de las características de las cuatro:

Interacciones fundamentales			
Fuerza gravitatoria		Fuerza electromagnética	
	<ul style="list-style-type: none">● Se ejerce entre dos partículas cualesquiera con masa● Siempre es atractiva● Es la más débil de las cuatro, pero es la de mayor alcance● Sólo es apreciable cuando uno de los cuerpos tiene una gran masa, como un planeta o un astro		<ul style="list-style-type: none">● Se ejerce entre partículas cualesquiera con carga eléctrica● Puede ser atractiva o repulsiva● Es de mayor intensidad que la fuerza gravitatoria, y a distancias superiores a 10^{-15} m, supera a la nuclear fuerte

Interacción fuerte		Interacción débil	
 <p>Imagen en Wikimedia Commons de Michalsmid bajo licencia CC</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Es la responsable de la cohesión del núcleo. Actúa entre protones, entre neutrones y entre protones y neutrones ● Es de corto alcance (sólo actúa en el ámbito del núcleo, unos pocos Fermios: 10^{-15} m) ● Es muy intensa a distancias del orden de 10^{-15} m ● Para distancias menores de 1 Fermio la fuerza atractiva se vuelve repulsiva. Esto es lo que impide que la materia se aplaste totalmente (se colapsen los núcleos) 	 <p>Imagen en Wikimedia Commons de Exc bajo licencia CC</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Es responsable de la desintegración β de algunos núcleos inestables ● Es más débil que la nuclear fuerte o la gravitatoria, aunque a distancias nucleares es más intensa que la gravitatoria ● De muy corto alcance, prácticamente nula a distancias superiores a 10^{-17} m

Ejercicio resuelto

Razonar si las interacciones principales de los dominios atómico, molecular y nuclear son diferentes.

Mostrar retroalimentación

Cierto. En el dominio atómico y molecular predomina la interacción electrostática (atracción entre núcleo y corteza electrónica o interacción eléctrica entre las distintas nubes electrónicas en el enlace químico). En el dominio nuclear la interacción predominante es la nuclear fuerte (cuestión 5).

6. Desintegración radiactiva

Imagina que tenemos delante una muestra radiactiva. Si pudiéramos fijarnos en un núcleo concreto no tendríamos forma de saber cuándo se va a desintegrar (transformarse en otro por emisión de partículas α o β) porque este proceso, para un núcleo particular, ocurre al azar. Afortunadamente para nosotros, cualquier muestra radiactiva contiene una cantidad enorme de núcleos, y esto nos permite analizar este asunto de forma estadística.

En cualquier caso, la disminución temporal de núcleos de la muestra por desintegración en otros será una función del número de núcleos que haya y de la muestra concreta que estemos observando (no se desintegra a la misma velocidad el C-14 que el U-238, por ejemplo).

Los matemáticos expresan esta dependencia de la siguiente forma:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

donde λ es una magnitud llamada **constante de desintegración radiactiva**, representa la probabilidad de que un núcleo se desintegre en la unidad de tiempo y es característica de cada núclido. Su unidad en el Sistema Internacional es el Becquerel, definido como desintegración por

segundo: $1 \text{ Bq} = 1 \frac{\text{des}}{\text{s}}$

La ecuación anterior se llama ecuación diferencial. No es muy difícil de resolver (es posible que a estas alturas de curso sepas hacerlo), pero a nosotros no nos interesa tanto el procedimiento como la solución, que es la siguiente:

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

Esta expresión nos permite conocer el número de núcleos (N) que quedan sin desintegrar de una muestra que inicialmente tenía N_0 al cabo de un cierto tiempo t . En el apartado siguiente comprobarás la utilidad que tiene la fórmula obtenida.

Como ves, el número de núcleos de la muestra disminuye con el tiempo de forma exponencial. Esta exponencial será más o menos suave en función del valor de λ . La imagen te presenta una gráfica para tres núclidos diferentes.

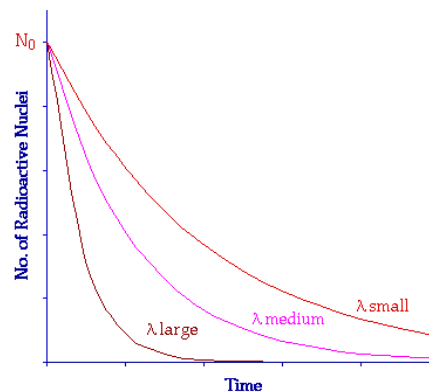


Imagen en Wikimedia Commons de [KieranMaher](#)
bajo licencia de [dominio público](#)

Se llama **período de semidesintegración (T)** al tiempo que tarda una muestra radiactiva en reducirse a la mitad por desintegración de la otra mitad.

Podemos obtener una expresión para este tiempo calculando el tiempo que tardan los N_0 núcleos en reducirse hasta $N_0/2$

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

Por otra parte, la fórmula $N = N_0 e^{-\lambda t}$ sería útil experimentalmente si pudiéramos ir contando núcleos en cada momento. Hay una manera más fácil si te das cuenta que cada núcleo que se desintegra emite una partícula (α o β), de forma que el número de núcleos que se desintegran es igual al número de partículas emitidas. Y este número es fácil de contar, disponemos de contadores Geiger que detectan las partículas emitidas.

Al número de desintegraciones que se producen por unidad de tiempo se le llama **actividad radiactiva (A)**. En el SI se mide en Becquerel (Bq) y se puede calcular simplemente multiplicando la constante de desintegración por el número de núcleos en cada instante.

$$A = \lambda N$$

Por la forma en la que hemos definido A , es fácil comprender que se cumple:

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

Como puedes comprobar en los ejercicios resueltos, esta fórmula es muy útil para determinar la edad de muestras muy antiguas.

Finalmente se define la **vida media (τ)** como el promedio del tiempo que tarda el núcleo de una muestra en desintegrarse. Se cumple lo siguiente:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

La siguiente simulación presenta un juego de datación radiactiva.



Simulación en [phet-Universidad de Colorado](#)
bajo licencia [Creative Commons](#)

Ejercicio resuelto

1) Un núcleo radiactivo tiene un periodo de semidesintegración de 1 año. ¿Significa esto que se habrá desintegrado completamente en dos años? Razonar la respuesta.

Mostrar retroalimentación

El período de semidesintegración es el tiempo que tarda una muestra radiactiva en reducirse a la mitad por desintegración de la otra mitad. De acuerdo con esto, la muestra del ejercicio se habrá reducido a la mitad en el primer año, y a la mitad de esa mitad en el 2º, por tanto, al cabo de 2 años se reduce a la 4ª parte.

2) La actividad de ^{14}C ($T_{1/2} = 5700$ años) de un resto arqueológico es de 120 desintegraciones por segundo. La misma masa de una muestra actual de idéntica composición posee una actividad de 360 desintegraciones por segundo.

- Explicar a que se debe dicha diferencia y calcular la antigüedad de la muestra arqueológica.
- ¿Cuántos átomos de ^{14}C tiene la muestra arqueológica en la actualidad? ¿Tienen ambas muestras el mismo número de átomos de carbono?

Mostrar retroalimentación

a) La actividad de una muestra disminuye exponencialmente, esto es $A = A_0 e^{-\lambda t}$. Es razonable suponer que la muestra tenía una actividad inicial igual a la muestra idéntica actual, por lo que podemos considerar la actividad de la muestra actual como actividad inicial (360 años^{-1}), de forma que debemos calcular el tiempo que ha

pasado para que esta actividad se reduzca hasta 120 años^{-1} . Por lo tanto, teniendo en cuenta los datos del ejercicio:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = 0.000122 \text{ años}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{5700} = 0.00012 \text{ años}^{-1}$$

,

por lo que

$$120 = 360 \cdot e^{-0.00012t} \longrightarrow t = \frac{\ln(\frac{1}{3})}{-0.00012} = 9155 \text{ años}$$

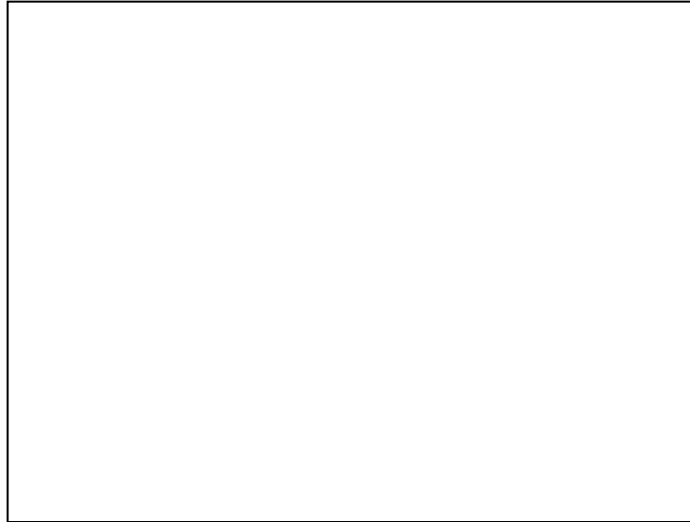
b) Primero expresamos λ en el SI: $\lambda = 3.86 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}$

$$A = \lambda \cdot N = 120 \text{ Bq} \longrightarrow N = \frac{A}{\lambda} = 3.11 \cdot 10^{13} \text{ nucl}$$

7. Estabilidad nuclear

Hay un asunto que todavía no hemos tratado. ¿Cómo es posible que un conjunto de protones y neutrones se mantengan unidos formando el núcleo?. ¿Qué tipo de interacción se establece entre estas partículas?.

La explicación se encuentra en una interacción diferente a las ya conocidas (interacción débil, gravitatoria y electromagnética) conocida con el nombre de **interacción nuclear fuerte**. En el último apartado veremos algunas características de esta interacción, de momento nos basta con saber que es el "pegamento" que mantiene unidos a los nucleones (protones y neutrones).



[Vídeo](#) de Soplo01 alojado en Youtube

Una forma de medir esta fuerza es a través de la **energía de enlace nuclear** que se define como la energía que mantiene unidos a los nucleones, y que podemos identificarla con la energía que se desprende en el proceso de formación de un núcleo.

Para calcular esta energía, debes saber que en el proceso de formación de un núcleo siempre hay una pérdida de masa, llamada **defecto de masa** Δm . A ese defecto de masa le corresponde una energía que, de acuerdo con la fórmula de Einstein, vale:

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

Esta es la energía de enlace nuclear. El defecto de masa se puede calcular restando la masa que teóricamente debe tener el núcleo (suma de las masas de los protones y neutrones que tenga) a la masa que se mide experimentalmente del mismo.

$$\Delta m = m_{teo} - m_{ex}$$

Importante

La fórmula de Einstein (**$E = \Delta m \cdot c^2$**) no es una fórmula cualquiera ya que relaciona dos conceptos diferentes, masa y energía, a través de una constante (la velocidad de luz al cuadrado).

A partir de ella podemos calcular el equivalente en energía de la unidad de masa. Si tenemos en cuenta los siguientes datos:

$$1 \text{ u} = 1.661 \cdot 10^{-27} \text{ kg} ; c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} ; 1 \text{ e} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Resulta la equivalencia **$1 \text{ u} = 931 \text{ MeV}$**

El resultado se expresa en MeV ($1 \text{ MeV} = 10^6$) que es la unidad adecuada para medir las

La energía se expresa en MeV (que son 10^6 eV), que es la unidad adecuada para medir las energías que se ponen en juego en los procesos nucleares.

ESTABILIDAD NUCLEAR

Nos referimos al equilibrio que se establece entre la fuerza eléctrica repulsiva que aparece entre los protones y la fuerza atractiva nuclear fuerte que hemos visto en el apartado anterior.

Para los núcleos ligeros se observa que los núcleos más estables son aquellos en los que N (nº de neutrones) es aproximadamente igual a Z (nº de protones). Para los núcleos pesados la estabilidad se consigue con mayor número de neutrones y la relación entre N y Z puede llegar a ser de hasta 1.56 ($N/Z=1.56$).

Fíjate en la gráfica de la derecha que muestra de un vistazo este comportamiento de los diferentes núclidos. Cada punto de color violeta representa un núclido distinto. Observa cómo, cuando Z es pequeño, los puntos se aglutinan sobre la línea verde, que representa la bisectriz ($Z=N$)

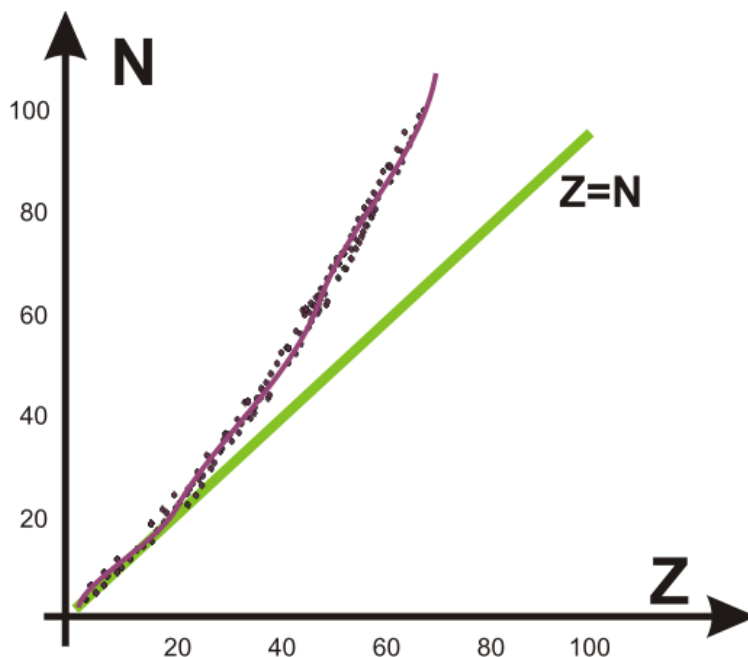


Imagen en Wikimedia Commons de [Juancarcole](#). CC

Todavía nos queda ponerle números a la estabilidad nuclear. Una forma de medirla cuantitativamente es calculando la **energía de enlace por nucleón**, que se define como la energía de enlace dividida entre el número másico. Fíjate que haciendo esta división estamos calculando la contribución de cada nucleón a la estabilidad del núcleo. Cuanto mayor es este cociente más estable es.

$$E_{nuc} = \frac{\Delta E}{A}$$

Como siempre, una gráfica resulta muy ilustrativa. Analízala y fíjate en las diferentes zonas de la misma. Algunos de los textos que aparecen se refieren a la fisión y fusión nucleares que veremos más adelante.

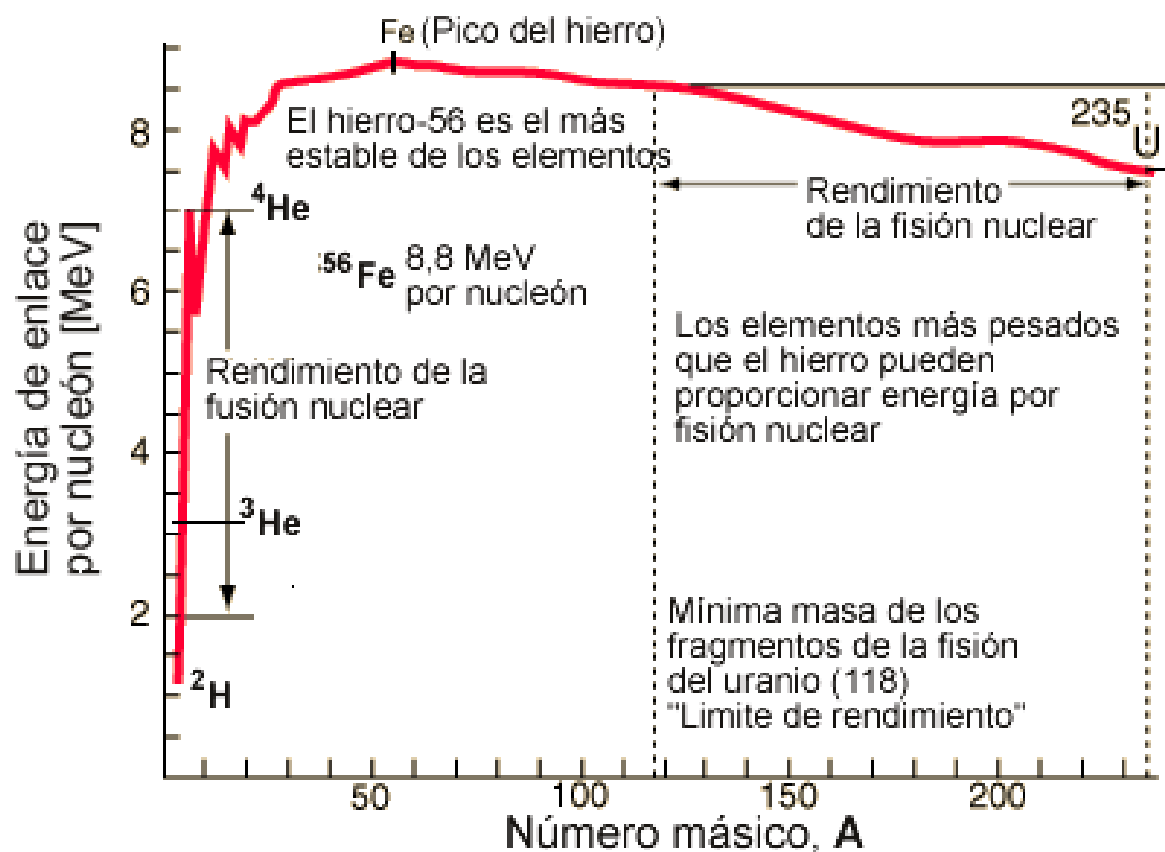


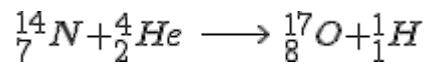
Imagen en Wikimedia Commons de [Xenoforme](#) bajo licencia de [documentación libre GNU](#)

8. Reacciones nucleares

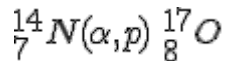
Una reacción nuclear es cualquier proceso en el que intervienen núcleos atómicos transformándose en otros diferentes.

Los procesos de emisión de partículas α y β son dos ejemplos de reacción nuclear pero, desde luego, no son los únicos. El ser humano es capaz de provocar reacciones nucleares "bombardeando" núcleos con alguna partícula.

Por ejemplo, cuando se bombardean núcleos de N-14 con partículas α (He-4) se obtiene, como núcleo residual, O-17 y se libera un protón. Podemos representar el proceso así:



o así



Importante

Debes recordar que, **en todas las reacciones nucleares**, se conserva:

1. La masa-energía
2. La carga
3. El momento lineal (o cantidad de movimiento)
4. El número de nucleones

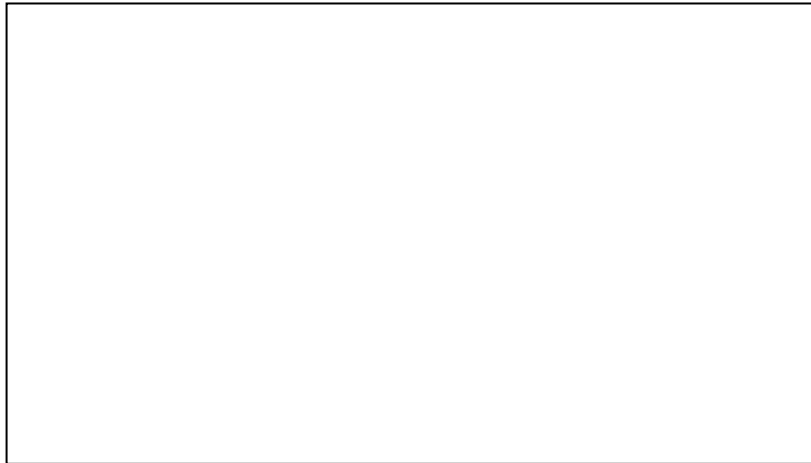
La conservación de la carga la puedes comprobar a simple vista notando que la suma de los números inferiores es la misma a la izquierda y derecha de la reacción.

La conservación del número de nucleones implica que las sumas de los números superiores a izquierda y derecha de la reacción también deben coincidir.

Sobre la conservación de la masa-energía hablaremos más adelante.

8.1. Fisión y fusión nuclear

Vamos ahora a estudiar un fenómeno que seguro que te resulta familiar. Observa el siguiente vídeo:

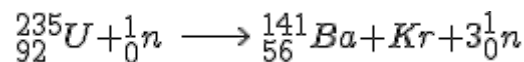


[Vídeo](#) de atomcentral alojado en Youtube

¿De dónde sale tanta energía? La respuesta se encuentra en el interior del núcleo atómico. Ya hemos comentado que la fuerza que mantiene unidos a los nucleones (interacción fuerte) es muy intensa. Esta energía se libera en los procesos que vamos a ver a continuación:

1) La **fisión nuclear** es una reacción que se produce cuando un núcleo pesado se divide en dos más pequeños al ser bombardeado con neutrones. En el proceso se liberan más neutrones y una gran cantidad de energía.

Por ejemplo, si bombardeamos con neutrones el U-235 en ciertas condiciones, este se fisiona obteniéndose Ba-141 y Kr-92. Además en este proceso se liberan tres neutrones que quedan disponibles para seguir fisionando núcleos de U-235 en una reacción en cadena. La reacción nuclear la simbolizamos así:



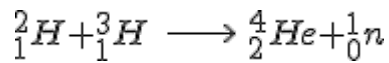
El vídeo siguiente presenta una simulación del proceso en 24 segundos



[Vídeo](#) de Despuésdelbigbang alojado en Youtube

2) La **fusión nuclear** es un proceso por el cual dos núcleos ligeros se unen para formar uno más pesado. En el proceso se libera una gran cantidad de energía.

Generalmente los núcleos ligeros que se fusionan son isótopos del Hidrógeno. Por ejemplo, un núcleo de Deuterio (H-2) puede fusionarse con otro de Tritio (H-3) para formar He-4.



En esta reacción se obtiene una enorme cantidad de energía, mayor que la que se obtiene en los procesos de fisión.

Entonces, ¿por qué no utilizar esta reacción como fuente de energía?. La razón está en que la reacción no es en absoluto espontánea, se requiere una energía de activación brutal para conseguir fusionar los núcleos. Para que te hagas una idea, sería necesario alcanzar temperaturas de millones de grados y, como puedes imaginar, es difícil conseguir esas condiciones en un laboratorio.

Estas temperaturas se alcanzan en el centro de las estrellas. Debes saber que la fusión nuclear es la causa de la enorme producción de energía solar.

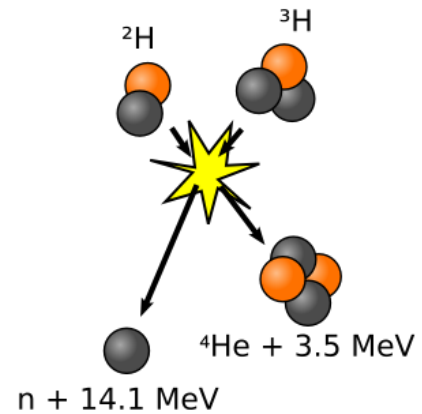


Imagen en Wikimedia Commons de [Aarchiba](#). dominio público

Ejercicio resuelto

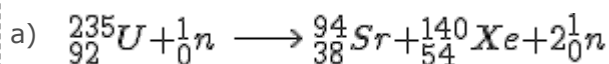
Una de las reacciones de fisión posibles del ${}^{235}_{92}\text{U}$ es la formación de ${}^{94}_{38}\text{Sr}$ y ${}^{140}_{54}\text{Xe}$ liberándose dos neutrones.

- Formular la reacción y hacer un análisis cualitativo del balance de masa.
- Calcular la energía liberada por 20 mg de uranio.

$m_{\text{U}} = 234,9943 \text{ u}$; $m_{\text{Sr}} = 93,9754 \text{ u}$; $m_{\text{Xe}} = 139,9196 \text{ u}$; $m_{\text{n}} = 1,0086 \text{ u}$; $N_{\text{A}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $1 \text{ u} = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$;

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Mostrar retroalimentación



Existe una pérdida de masa en la reacción que se calcula:

$$\Delta m = m_{\text{teo}} - m_{\text{e}} = [m(\text{U}) + m(\text{n})] - [m(\text{Sr}) + m(\text{Xe}) + 2m(\text{n})] = 0.0907 \text{ u} = 1.506 \cdot 10^{-28} \text{ kg}$$

- b) A la pérdida de masa calculada le corresponde una energía

$$E = \Delta m \cdot c^2 = 1.355 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

Esta energía se refiere a la fisión de 1 núcleo de U-235. En una muestra de $20 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ tenemos

$$\text{Núcleos de U} = 20 \cdot 10^{-3} \frac{6.02 \cdot 10^{23}}{234,9943} = 5.124 \cdot 10^{19}$$

La energía liberada se obtiene multiplicando estos dos resultados

$$E = 6.945 \cdot 10^8 \text{ J}$$

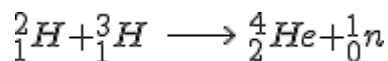
Ejercicio resuelto

Calcula la energía liberada en la reacción de fusión de 20 mg de H-2 con H-3 suficiente. Compara los resultados con los obtenidos en el ejercicio resuelto en el que se fisionaba Uranio.

$m_{\text{H-2}} = 2,0136 \text{ u}$; $m_{\text{H-3}} = 3,0161 \text{ u}$; $m_{\text{He-4}} = 4,0026 \text{ u}$; $m_n = 1,0086 \text{ u}$; $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; $m_p = 1.0073 \text{ u}$

Mostrar retroalimentación

La energía liberada será la correspondiente a la pérdida de masa que existe entre la parte izquierda y derecha de la reacción:



Calculamos este defecto de masa:

$$\Delta m = \left[m({}^2_1\text{H}) + m({}^3_1\text{H}) - (m({}^4_2\text{He}) + m_n) \right] = 0,0185 \text{ u} = 3,071 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

A este defecto de masa le corresponde una energía que podemos calcular por la fórmula de Einstein

$$E = \Delta m \cdot c^2 = 2,76 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

por cada núcleo fusionado.

Para poder comparar con el ejercicio resuelto anterior, calculemos la energía que se liberaría en la fusión de 20 mg de H-2

El número de núcleos es:

$$\text{Núcleos de } {}^2_1\text{H} = 20 \cdot 10^{-3} \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{2,0136} = 5,97 \cdot 10^{21}$$

La energía total liberada en la fusión de los 20 mg se obtiene multiplicando las dos cantidades anteriores

$$E = 1,65 \cdot 10^{10} \text{ Julios}$$

Como puedes comprobar, la energía liberada es 2 órdenes de magnitud superior a la energía liberada en la fusión (que ya era mucha).

9. Energía nuclear

La considerable liberación de energía que se produce en las reacciones de fisión hacen que la utilización principal de la energía nuclear sea para la producción de energía eléctrica en centrales nucleares. Pero además de esta aplicación, que veremos detalladamente en el siguiente apartado, existen otras que pasamos a enumerarte a continuación:

1. Medicina: Tratamiento y diagnóstico del cáncer
2. Industria: Examen de estructuras, soldaduras,.. a partir del empleo de radiografías
3. Química: Investigación de mecanismos de reacción
4. Paleontología: Datación de restos arqueológicos y fósiles a partir del C-14
5. Geofísica: Datación de muestras geológicas, se aprovecha la existencia de materiales radiactivos naturales para la fijación de las fechas de los depósitos de rocas, carbón o petróleo
6. Industria: Fabricación de relojes de precisión
7. Alimentación. Conservación de alimentos

A nosotros nos basta con que conozcas los campos en los que se utiliza la física nuclear pero, si deseas profundizar algo más, te recomendamos que visites [este enlace](#). No obstante, nos vamos a detener en el funcionamiento de una central nuclear.

FUNCIONAMIENTO DE UNA CENTRAL NUCLEAR

El funcionamiento de una central nuclear se basa en el aprovechamiento energético de la energía liberada en los procesos de fisión nuclear. Esta energía se invierte en calentar una masa de agua hasta el estado de vapor el cual, mediante unas turbinas, permite la obtención de energía mecánica. Finalmente, la energía mecánica se convierte en energía eléctrica mediante un generador.

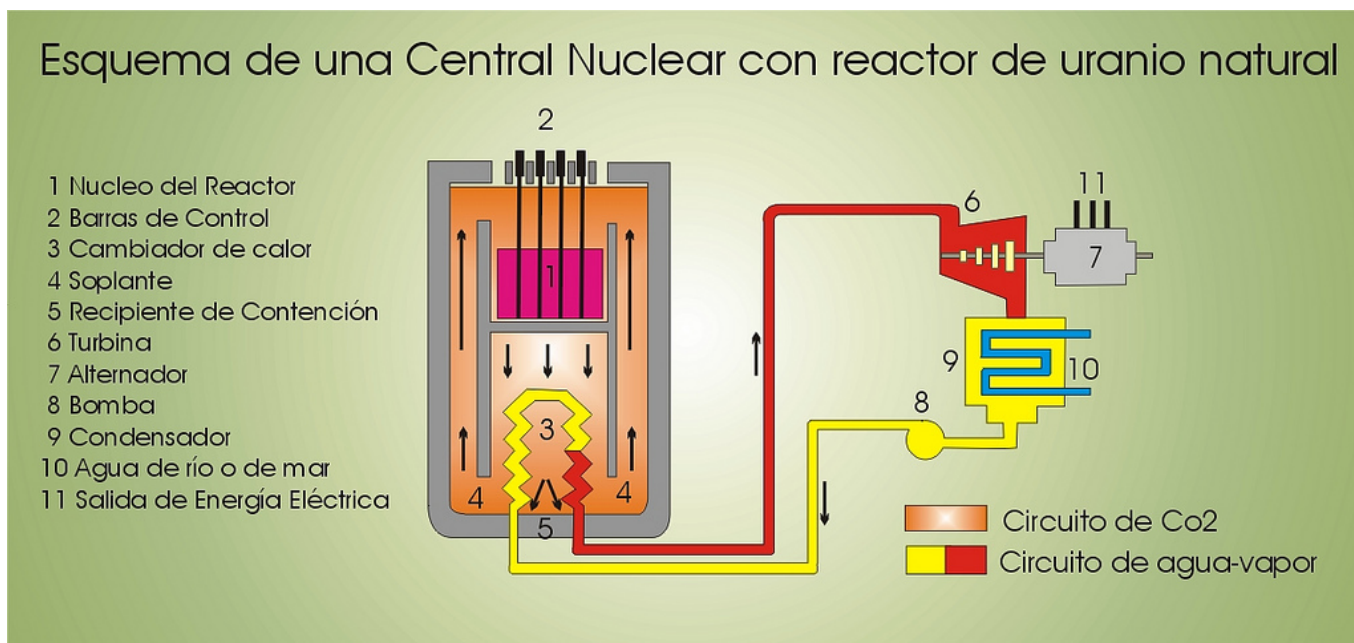
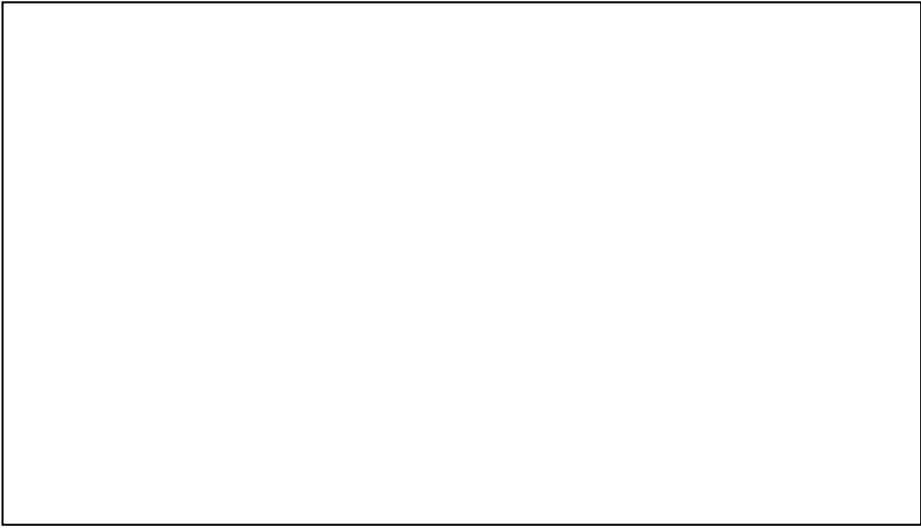


Imagen en Flickr de [aula.xtec](#). CC

Una vez ha salido de la turbina, el vapor entra en un tanque (depósito de condensación) donde se enfría y condensa al estar en contacto con las tuberías de agua fría. Mediante una bomba se redirige nuevamente al reactor nuclear para volver a repetir el ciclo.

Este es el motivo por el que las centrales nucleares siempre están instaladas cerca de una fuente abundante de agua fría (mar, río, lago), para aprovechar esta agua en el depósito de condensación. La columna de humo blanco que se puede ver saliendo de determinadas centrales es el vapor de agua que se provoca cuando se produce este intercambio de calor.

El siguiente vídeo de 1.5 minutos te ayudará a comprender el funcionamiento de una central nuclear.



[VÍdeo](#) de airevisual alojado en Youtube



9.1. Ventajas e inconvenientes

Las características de las radiaciones α , β , y γ relacionadas con su poder de penetración e ionización las hacen potencialmente peligrosas si entran en contacto con los tejidos de los seres vivos.

El nivel de peligrosidad dependerá, lógicamente, de la cantidad de radiación a la que el organismo vivo ha estado expuesto y de la radiación concreta irradiada.

En este sentido, debemos distinguir entre las radiaciones que provienen de fuera del organismo y las que provienen de dentro

- **Fuentes externas al organismo:** En este caso la radiación es tanto más peligrosa cuanto más penetrante, por lo que el orden de peligrosidad es $\alpha < \beta < \gamma$
- **Fuentes internas al organismo:** Aquí ocurre al contrario, la radiación es tanto más peligrosa cuanto más poder ionizante tenga, por lo que el orden de peligrosidad ahora es: $\alpha > \beta > \gamma$





Imagen en Wikimedia Commons de [Mr.Tamagotchi](#)
bajo licencia de [documentación libre GNU](#)

En cuanto a la cantidad de radiación absorbida, esta se suele medir de la siguiente forma:

- **Dosis absorbida:** Energía absorbida por unidad de masa de sustancia irradiada. En el SI la unidad es el Gray. $1 \text{ Gray} = 1 \text{ J/Kg}$
- **Dosis equivalente:** Se define como la dosis absorbida por un coeficiente de eficacia biológica. Su unidad es el Sievert, definido como la cantidad de radiación que produce el mismo efecto que la absorción de un julio de rayos γ en un kilogramo de materia orgánica. También se utiliza con frecuencia el rem. $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

Bueno, ya conoces el peligro potencial de las radiaciones. Generalmente esta es la razón por la que el uso de la fisión nuclear para la producción de energía eléctrica es un tema generalmente controvertido que suele generar un debate intenso en la sociedad. Como casi todo, hay datos que aconsejan su uso y otros que lo desaconsejan. En este apartado te ofrecemos un conjunto de datos que te pueden ayudar a formarte tu propia opinión al respecto.

Ventajas	 <small>Imagen de Mr.Tamagotchi en Wikimedia Commons. GNU</small>	Inconvenientes	 <small>Imagen de Matiasguffanti en Wikimedia Commons. CC</small>
El ahorro de muchos millones de toneladas de CO ₂ y otros contaminantes generados a partir de la quema de combustibles fósiles		Generación de residuos nucleares radiactivos y la dificultad para gestionarlos ya que tardan muchísimos años en disminuir su actividad hasta valores tolerables	
Actualmente se consumen más combustibles fósiles de los que se producen de modo que en un futuro no muy lejano se agotarían estos recursos. Una de las grandes ventajas del uso de la energía nuclear es la relación entre la cantidad de combustible utilizado y la energía obtenida. Esto se traduce, también, en un ahorro en transportes, residuos, etc		Apenas incide favorablemente en el cambio climático porque la principal fuente de emisiones es el transporte por carretera	
Al ser una alternativa a los combustibles fósiles como el carbón o el petróleo, evitaríamos el problema del llamado calentamiento global, el cual, se cree que tiene una influencia más que importante con el cambio climático del planeta		Los costes de la construcción y puesta en marcha de una planta nuclear son muy elevados teniendo en cuenta que, por ejemplo en España, la vida útil de las plantas nucleares es de 40 años	
		Su uso recae sobre la responsabilidad de las personas, por lo que decisiones irresponsables	

pueden provocar accidentes en las centrales nucleares pero, aún mucho peor, se puede utilizar con fines bélicos

Mención aparte merece la producción de energía por fusión nuclear. Si esta fuera viable, hoy por hoy no lo es, habría que considerar las siguientes ventajas:

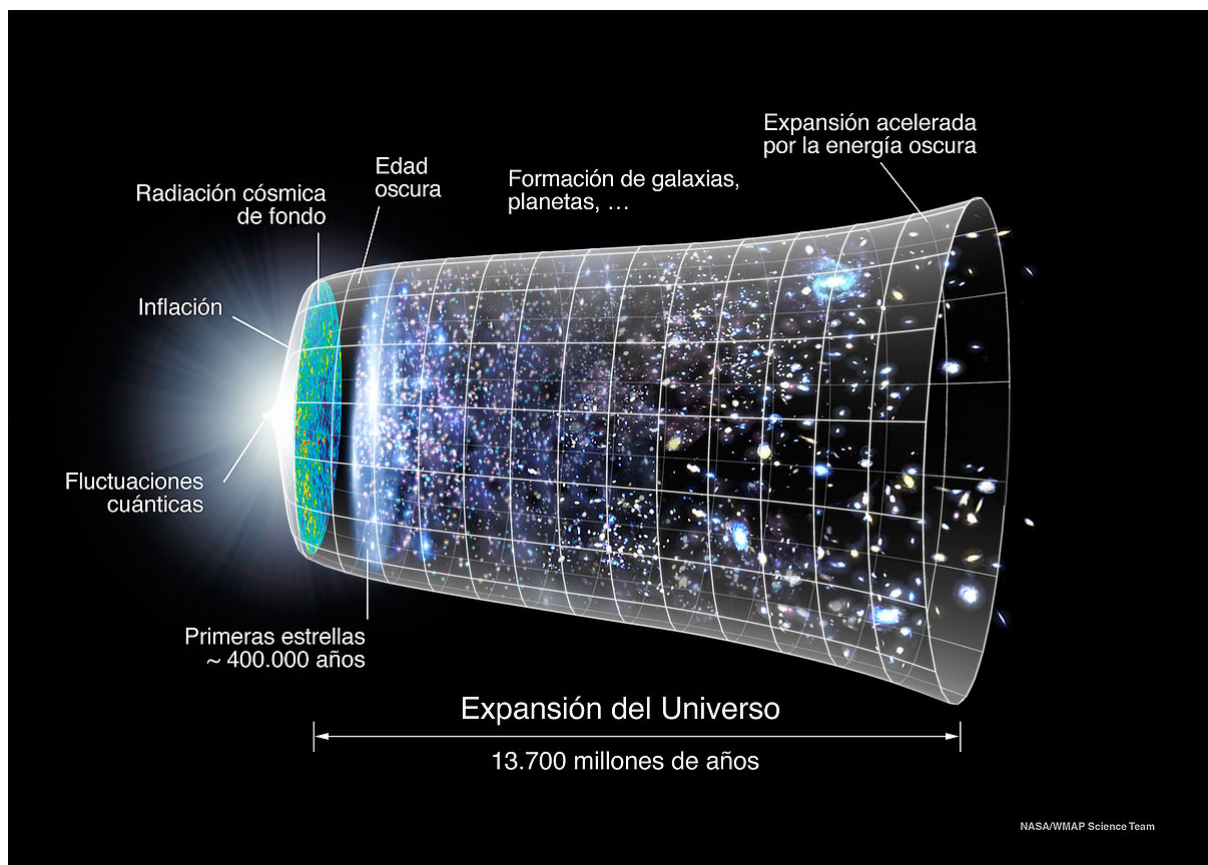
- Obtendríamos una fuente de combustible inagotable.
- Evitaríamos accidentes en el reactor por las reacciones en cadena que se producen en las fisiones.
- Los residuos generados son mucho menos radiactivos.
- El principal inconveniente y lo que la hace más peligrosa es que seguridad en en que la primera vez que se utilizó la energía nuclear tras las oportunas investigaciones fue para atacar Japón en la Segunda Guerra Mundial con dos bombas nucleares.

10. Historia del Universo

the Big BANG THEORY

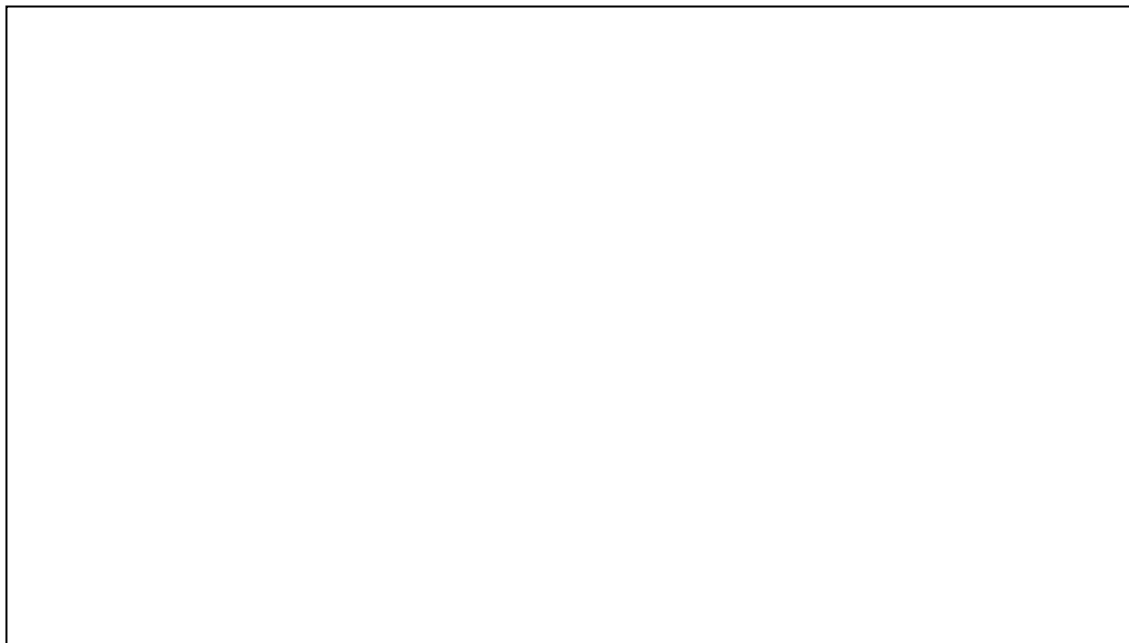
[Imagen](#) de DjayK en Wikimedia Commons. Dominio público

Seguramente reconocerás el logo de esta serie estadounidense. Se trata de una comedia de situación protagonizada por dos físicos que trabajan en el [Instituto Tecnológico de California](#). El nombre de la serie alude a la teoría, admitida actualmente por la mayoría de la comunidad científica, que acepta que el Universo tuvo su origen en una gran explosión, el Big Bang.



Evolución del Universo de [NASA](#) bajo [Dominio Público](#) en [Wikipedia](#)

En 1927, Georges Lemaître publica un artículo en el que defiende la idea de que el universo se expande. En 1929, Edwin Hubble comprueba que la mayoría de las galaxias observadas se alejan de la nuestra. Esta comprobación viene a corroborar las ideas de un universo en expansión. En 1964, Arno Penzias y Robert Wilson encuentran por casualidad una radiación que más tarde se interpretó como el eco de la gran explosión que dio origen al universo. En el siguiente vídeo se narra el descubrimiento de la radiación de fondo de microondas.



[Vídeo](#) de Date un Voltio alojado en Youtube

Hoy en día entendemos el Universo como un sistema en continua expansión y enfriamiento. En los primeros instantes tras el Big Bang las cuatro fuerzas fundamentales no se distinguirían. A partir de los 10^{-43} segundos la fuerza de la gravedad se distingue de las otras tres y las temperaturas son del orden de 10^{32} K. A partir de los 10^{-35} segundos la energía nuclear fuerte se separa de las otras dos y la temperatura baja a 10^{27} K. Estos cambios generaron una liberación enorme de energía y una expansión exponencial. Este proceso se conoce como inflación. Al terminar el periodo inflacionario que llevó al universo desde un tamaño inferior a un protón al tamaño de una naranja, aparece la materia. A partir de 10^{-12} segundos habría un especie de mar de quarks. A partir de este momento se distingue la interacción electromagnética de la débil y la temperatura se reduce a 10^{15} K. Hasta que no transcurren 10^{-4} segundos la temperatura no ha descendido lo suficiente como para que los quarks empiecen a combinarse y puedan aparecer así protones y neutrones. Debieron pasar 3 minutos para que neutrones y protones empezaran a formar los primeros núcleos atómicos. A partir de los 380.000 años desde el Big Bang, la temperatura ha descendido a unos 3000K y estos núcleos se unen a electrones formando Hidrógeno y Helio. Es lo que se conoce como era de la recombinación y produjo una radiación cuyo eco es la radiación de fondo de microondas detectada por primera vez en 1964. Más tarde, pasados 560 millones de años, aparecen las primeras estrellas. Hasta que no transcurren 750 millones de años no surgen las primeras galaxias.

11. Fronteras de la Física

Te recomendamos que actives los subtítulos en español de este video de Dominic Walliman para conocer los campos de la Física.



[Vídeo](#) de Domain of Science alojado en Youtube

Como has podido ver en el vídeo, aunque la Física ha protagonizado numerosos avances en los últimos cuatro siglos, todavía hay muchos problemas por resolver.

Uno de estos problemas lo constituye la unificación de los campos. El sueño de muchos físicos teóricos consiste en proponer una teoría que sea capaz de explicar las cuatro interacciones fundamentales (gravitatoria, electromagnética, nuclear débil y nuclear fuerte). El modelo estándar es capaz de unificar todas salvo la gravedad. Teorías más recientes como las teorías de supercuerdas o la teoría cuántica de bucles podrían unificar también la nuclear fuerte dando lugar a lo que se ha venido a llamar una Teoría del Todo.

Otro problema sin resolver lo constituyen la materia y la energía oscura.

Por un lado, la masa de las galaxias es mayor de la que detectamos. Es necesario, por tanto, que existan unas partículas masivas que no interactúen con la luz o que lo hagan muy débilmente. Aún no se han detectado.

Por otro lado, la expansión del universo se está acelerando y esto solo es explicable si existiera una energía oscura que representaría casi el 75% de la masa-energía del universo. Tampoco hay por ahora evidencias al respecto.

Tampoco los físicos tienen respuesta para saber por qué hay más materia que antimateria en nuestro universo. Se intuye que en algún momento se produjo un desequilibrio que condujo a la situación actual.

En definitiva, que la Física es una ciencia que da respuestas a problemas y a su vez genera nuevas preguntas. Esta concepción está muy alejada de la Física ideal que a finales del siglo XIX se esperaba que diera respuesta a todo en un breve periodo de tiempo.

12. Especial PEvAU

Ejercicio resuelto

El ${}^{14}_6\text{C}$ se desintegra dando ${}^{14}_7\text{N}$ y emitiendo una partícula beta. El periodo de semidesintegración del ${}^{14}_6\text{C}$ es de 5376 años.

Si la actividad debida al ${}^{14}_6\text{C}$ de los tejidos encontrados en una tumba es del 40% de la que presentan los tejidos similares actuales, ¿cuál es la edad de aquellos?.

Mostrar retroalimentación

La actividad se calcula multiplicando $\lambda \cdot N$. Por lo tanto, si la actividad se ha reducido al 40%, esto significa que $N=0.4 \cdot N_0$. Como, por otra parte,

$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = 1.29 \cdot 10^{-4} \text{ años}^{-1}$, de la ley de desintegración se deduce:

$$0.4 \cdot N_0 = N_0 \cdot e^{-1.29 \cdot 10^{-4} t \text{ años}^{-1}} \Rightarrow t = \frac{\ln 0.4}{-1.29 \cdot 10^{-4}} = 7103 \text{ años}$$

El ${}^{99}_{43}\text{Tc}$ se desintegra emitiendo radiación gamma.

Calcular la actividad de un gramo de isótopo cuya vida media en el estado inicial es de 6 horas. $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Mostrar retroalimentación

Calculamos la constante radiactiva: $\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{6 \cdot 3600} = 4.63 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

La actividad es: $A = \lambda \cdot N = 4.63 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot \frac{6.02 \cdot 10^{23}}{99} = 2.81 \cdot 10^{17} \text{ Bq}$

Ejercicio resuelto

Calcular la energía de enlace de los núcleos ${}^3_1\text{H}$ y ${}^3_2\text{He}$. ¿Qué conclusión, acerca de

la estabilidad de dichos núcleos, se deduce de los resultados obtenidos?

Datos: $m(\text{He-3}) = 3,016029 \text{ u}$; $m(\text{H-3}) = 3,016049 \text{ u}$; $m_n = 1,0086 \text{ u}$; $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; $m_p = 1.0073 \text{ u}$

Mostrar retroalimentación

Esta es la energía es la correspondiente al defecto de masa

i) Para el ${}^3\text{H}$, $\Delta m = [1\Delta m_p + 2\Delta m_n] - m(\text{H-3}) = 0.0008451 \text{ u}$

ii) Para el ${}^3\text{He}$, $\Delta m = [2\Delta m_p + 1\Delta m_n] - m(\text{He-3}) = 0.007171 \text{ u}$

Para cada una de estas cantidades, la energía de enlace se obtiene a partir de la ecuación de Einstein, $E = \Delta m \cdot c^2$. Teniendo en cuenta la conversión al S.I.

$$E = 0.0008451 \text{ u} \cdot \frac{1.67 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}}{1 \text{ u}} \cdot \left(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1.26 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$E = 0.007171 \text{ u} \cdot \frac{1.67 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}}{1 \text{ u}} \cdot \left(3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1.07 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

Otra opción es multiplicar cada Δm por el factor 931 MeV/u, pero este dato no lo proporciona el ejercicio, por lo que no debe utilizarse.

Para poder comparar la estabilidad de los núcleos utilizamos la energía de enlace por nucleón. Ahora bien, puesto que el número de nucleones es el mismo en ambos casos (3 nucleones), los resultados sugieren que es más estable el ${}^3\text{He}$ que el ${}^3\text{H}$.

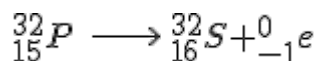
Ejercicio resuelto

El núcleo ${}_{15}^{32}\text{P}$ se desintegra emitiendo una partícula beta.

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_e = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ u}$; $1 \text{ u} = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $m({}^{32}\text{P}) = 31,973908 \text{ u}$

Escribir la reacción de desintegración y determinar razonadamente el número másico y el número atómico del núcleo resultante

Mostrar retroalimentación



Si el electrón se emite con una energía cinética de 1,7 MeV, calcular la masa del núcleo resultante

Mostrar retroalimentación

La energía cinética del electrón emitido debe coincidir con la energía equivalente al defecto de masa de la reacción. Este defecto de masa es

$$\Delta m = m(P) - [m(S) + m(e)] = 31.9734 - m(S)$$

y la energía equivalente:

$$E = [31.9734 - m(S)] \cdot \frac{931 \text{ MeV}}{u}$$

Igualando a 1.7 MeV y despejando m(S), resulta **m(S) = 31.9715 u**

Nota: Hemos utilizado el factor de conversión masa – energía 931. Estrictamente hablando esto no debe hacerse puesto que no es un dato del problema. Sin embargo este dato puede deducirse de los que sí se dan (e,c,u).

Resumen

Importante

Las partículas elementales principales constituyentes de un átomo:

Partícula	Carga (C)	Masa (kg)
Electrón	$-1.6 \cdot 10^{-19}$	$9.1 \cdot 10^{-31}$
Protón	$1.6 \cdot 10^{-19}$	$1.6748 \cdot 10^{-27}$
Neutrón	0	$1.6725 \cdot 10^{-27}$

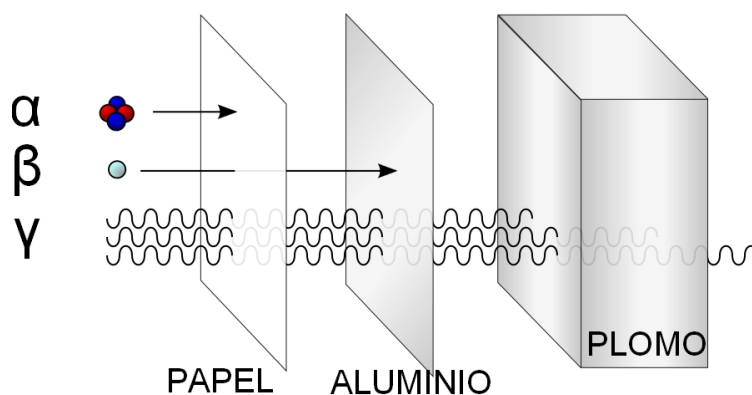
Y recuerda:

- Al número de protones que hay en un núcleo atómico se le llama **número atómico Z**.
- A la suma del número de protones (Z) y neutrones (N) de un núcleo se le llama **número másico A**. Obviamente **$A=Z+N$**

Importante

Podemos definir la **radiactividad natural** como el fenómeno de emisión espontánea de radiación que presentan determinadas sustancias. Cuando el fenómeno no es espontáneo, sino inducido por alguna reacción nuclear, hablamos de **radiactividad artificial**.

Esta radiación procede de los núcleos de los átomos y puede ser de tres tipos:

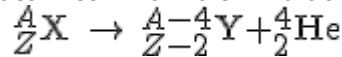


1. Radiación alfa (α): radiación material formada por núcleos de Helio (partículas alfa), poseen carga positiva ($Q_\alpha = +2e$) y su masa es $M_\alpha = 2m_p + 2m_n$.
2. Radiación beta (β): radiación material formada por electrones.
3. Radiación gamma (γ): Es una radiación electromagnética de frecuencia muy alta.

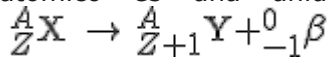
Importante

Leyes de Soddy y Fajans

1ª ley: Cuando un núcleo emite una partícula α se transforma en otro cuyo número atómico ha disminuido en dos unidades y el número másico en cuatro.







2ª ley: Cuando un núcleo emite una partícula β se transforma en otro cuyo número atómico es una unidad mayor y el número másico permanece invariable.



3ª ley: La emisión de radiación gamma no modifica los números del núcleo padre. El núcleo emisor pasa de un estado excitado a otro más estable: ${}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZX + \gamma$

Importante

Interacciones fundamentales			
Fuerza gravitatoria		Fuerza electromagnética	
	<ul style="list-style-type: none"> ● Se ejerce entre dos partículas cualesquiera con masa ● Siempre es atractiva ● Es la más débil de las cuatro, pero es la de mayor alcance ● Sólo es apreciable cuando uno de los cuerpos tiene una gran masa, como un planeta o un astro 		<ul style="list-style-type: none"> ● Se ejerce entre partículas cualesquiera con carga eléctrica ● Puede ser atractiva o repulsiva ● Es de mayor intensidad que la fuerza gravitatoria, y a distancias superiores a 10^{-15} m, supera a la nuclear fuerte
Interacción fuerte		Interacción débil	
	<ul style="list-style-type: none"> ● Es la responsable de la cohesión del núcleo. Actúa entre protones, entre neutrones y entre protones y neutrones ● Es de corto alcance (sólo actúa en el ámbito del núcleo, unos pocos Fermios: 10^{-15} m) ● Es muy intensa a distancias del orden de 10^{-15} m ● Para distancias menores de 1 Fermio la fuerza atractiva se vuelve repulsiva. Esto es lo que impide que la materia se aplaste totalmente (se colapsen los núcleos) 		<ul style="list-style-type: none"> ● Es responsable de la desintegración β de algunos núcleos inestables ● Es más débil que la nuclear fuerte o la gravitatoria, aunque a distancias nucleares es más intensa que la gravitatoria ● De muy corto alcance, prácticamente nula a distancias superiores a 10^{-17} m

Importante

Se llama **período de semidesintegración (T)** al tiempo que tarda una muestra radiactiva en reducirse a la mitad por desintegración de la otra mitad (tiempo que tardan los N_0 núcleos en reducirse hasta $N_0/2$)

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

Al número de desintegraciones que se producen por unidad de tiempo se le llama **actividad radiactiva (A)**. En el SI se mide en Bequerel (Bq) y se puede calcular simplemente multiplicando la constante de desintegración por el número de núcleos en cada instante.

$$A = \lambda N \quad A = A_0 e^{-\lambda t}$$

Se define la **vida media (τ)** como el promedio del tiempo que tarda el núcleo de una muestra en desintegrarse:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Importante

La energía de enlace nuclear se define como la energía que mantiene unidos a los nucleones, y que podemos identificarla con la energía que se desprende en el proceso de formación de un núcleo.

Para calcular esta energía, debes saber que en el proceso de formación de un núcleo siempre hay una pérdida de masa, llamada **defecto de masa Δm** . A ese defecto de masa le corresponde una energía que, de acuerdo con la fórmula de Einstein, vale:

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

El defecto de masa se puede calcular restando la masa que teóricamente debe tener el núcleo a la masa que se mide experimentalmente del mismo.

$$\Delta m = m_{teo} - m_{ex}$$

Importante

En todas las reacciones nucleares, se conserva:

1. La masa-energía
2. La carga

2. La carga
3. El momento lineal (o cantidad de movimiento)
4. El número de nucleones

La conservación de la carga la puedes comprobar a simple vista notando que la suma de los números inferiores es la misma a la izquierda y derecha de la reacción.

La conservación del número de nucleones implica que las sumas de los números superiores a izquierda y derecha de la reacción también deben coincidir.

AVISO DEL SERVIDOR

Por motivos de seguridad esta página web solo está accesible mediante acceso seguro (https):

https://www.juntadeandalucia.es/Aviso_Legal_Andalucia_v04.htm

Por favor, actualice sus marcadores. Gracias.

Imprimible

Descargar [imprimible](#) (pdf - 1532.03 KB) .

