

RADIATIVIDAD

Introducción

El descubrimiento de la radiactividad en 1896 por Henry Becquerel, y el posterior estudio emprendido por él mismo y por el matrimonio Curie, puso de manifiesto que los elementos de mayor masa emiten continuamente un tipo de radiación.

El estudio de los componentes de esta radiación, de las leyes de la desintegración, de la constitución del núcleo atómico y de las reacciones nucleares, constituyen el cuerpo de conocimientos de la **Física Nuclear**.

Descubrimiento...¿no buscado?

El descubrimiento de la radiactividad es un ejemplo de cómo debe proceder un científico en la búsqueda de las causas de un fenómeno.

Becquerel es un ejemplo. Ante una placa fotográfica estropeada de un modo extraño, aplica su inmensa curiosidad científica y trata de averiguar que ocurrió. Al hacerlo realiza el descubrimiento de la radiactividad.



Inicio de la Física de Partículas

La utilización de las partículas subatómicas como proyectiles lanzados sobre un núcleo, permite el conocer la constitución del núcleo de los átomos.

El estudio de la composición del núcleo pertenece a una rama de la Física llamada Física de Partículas ([CERN](#)). Por cierto en su página de entrada pone "...where the web was born!"

La comprensión de los fenómenos radiactivos y la Física de Partículas permitieron la confirmación de la suposición de Einstein de que la materia es como una forma de guardarse la energía ($\Delta E = \Delta m c^2$): la materia es energía.

Materia y energía son convertibles una en la otra y viceversa.

Permite entender el funcionamiento del Sol

El estudio de las reacciones nucleares y su comprensión permitieron entender cómo funciona el Sol, de qué manera quema su combustible e incluso a predecir su duración.

Esta comprensión del funcionamiento del Sol es, por lo tanto, bastante reciente.

La Física de Partículas permite comprender cómo la energía de un gran estallido llamado Big Bang se convirtió en la masa que nos forma, y cuándo y cómo se fue condensando en átomos simples y en otros más complejos en el corazón de las estrellas hasta dar esta diversidad de materia que existe en el Universo. Recuerda que somos polvo de estrellas.

Entre los productos de ese horno solar están las sustancias radiactivas.

La radiactividad artificial, creada recientemente por el hombre, fue antes una radiactividad que existió, en la naturaleza (radiactividad natural) y en muchas partes del Cosmos.

La creación: un origen simple y puntual

La diversidad de la materia sugiere un origen diverso con una creación particular para cada cosa (..se creó el Sol, la Tierra, los animales) y no un origen simple para todo: un puntual estallido de energía.

Después del Big Bang todo evoluciona sometido a unas leyes físicas inexorables.

Actividad.- Busca el significado de inexorable

¡Qué importante es la Radiactividad!. Gracias a ella entendimos los conceptos anteriores.

Nota: debes cerrar el cuadro emergente que surge al pulsar los botones antes de lanzar otro.

Actividad: Comprueba, buscando en el diccionario de la [Real Academia Española](#), si se dice Radiactividad o Radioactividad



Objetivos de la unidad

Pretendemos que al finalizar el estudio del tema seas capaz de:

- Conocer el origen de la radiactividad, su composición y propiedades.
- Comprender cómo la utilización de estas partículas como proyectiles llevó al estudio y a la comprensión del núcleo atómico y al descubrimiento de otras partículas.
- Conocer las leyes que rigen la desintegración radiactiva.
- Entender y ser capaces de escribir los símbolos y las ecuaciones de los procesos radiactivos.
- Comprender y manejar en la resolución de problemas los conceptos de constante radiactiva, periodo de semidesintegración y vida media.
- Aprender a realizar cálculos de las variaciones energéticas asociados a las reacciones de desintegración radiactiva.
- Entender el concepto de energía de ligadura atómica y su valor por nucleón.
- Entender la energía de fusión y de fisión como dos fenómenos de cambio energético que acompaña en la producción de átomos más estables en sus respectivas reacciones.

- Aprender a valorar las ventajas y los riesgos de la energía nuclear.
- Aprender a buscar en la RED y a diferenciar los enlaces importantes e institucionales. Consulta con el profesor cuando encuentres informaciones contradictorias.

¿Qué es la radiactividad?

Es la propiedad que tienen ciertas sustancias de emitir radiaciones.

Becquerel, estudiando la fluorescencia, descubrió que algunas sustancias **emiten espontáneamente**, sin estimulación previa, y de manera continua, **radiación**.

Como se acababan de descubrir los rayos X, pensó que lo que emitían las sustancias radiactivas era una **radiación** semejante. Hoy sabemos que esa radiación incluye rayos gamma y dos tipos de partículas que salen a gran velocidad: α y β .

Las radiaciones gamma son ondas electromagnéticas (más energéticas que los rayos X). En realidad, incluso la radiación luminosa, contienen fotones que se comportan como partículas.

Las partículas alfa y beta llevan una onda asociada ([De Broglie](#)).

http://newton.cnice.mec.es/2bach/cuantica/cuan_debroglie.htm?2&0(Si esto te quedó confuso sigue leyendo el tema y luego puedes ampliar en el enlace anterior lo que aquí se afirma. Se abrirá otro navegador que puedes minimizar para volver a esta página

Descubrimiento y deducciones iniciales (un ejemplo de investigación)

.....

Becquerel estudió la posible emisión de rayos X por las sustancias fosforescentes.

Fluorescencia

La fluorescencia es la luminiscencia producida por determinados minerales cuando son expuestos a la acción de ciertos rayos (rayos X, ultravioleta, visibles, catódicos y radiactivos). Estas radiaciones son transformadas por el mineral en ondas luminosas de longitud de onda mayor que la de los rayos que inciden en él. A diferencia de los casos de luminosidad fosforescente, en la fluorescente la emisión luminosa cesa en el instante en que se suprime la luz excitante. Ejemplo de minerales emisores de luz fluorescente son el ópalo, la fluorita y algunas calcitas.



Pulsa en la imagen para ver la página de esta fluorita.

Pulsa [aquí](#) para ver otros minerales.

Cuando en una pantalla se producen escintillaciones (centelleos, destellos) al impactar sobre ella rayos X, esa pantalla es de un material fluorescente

Fosforescencia

La fosforescencia es la luminiscencia producida por un mineral durante un tiempo más o menos largo, después de que ha cesado la fuente de radiación excitadora.

Ejemplo de minerales fosforescentes son la blenda y determinadas calcitas.



La posición de las agujas y los números de los relojes se pueden ver en la oscuridad porque están recubiertos de una sustancia fosforescente.

Usaba una sustancia fosforescente (sales de uranio) y una placa fotográfica. Envolvía la placa en papel grueso y negro para que los rayos solares no la velaran y colocaba las sales de uranio encima. Los rayos que emitía la sal eran muy energéticos, atravesaban el papel y ennegrecían la placa. Se formaba una imagen en la placa que era la silueta del trozo de sal depositada sobre el papel.

Procedimiento: Colocaba la sal a la luz del Sol para que los rayos solares la hicieran más fosforescente y después depositaba la sal sobre el papel que recubría la placa.

Afortunado accidente: Un día nublado, sin fuerte luz solar, no realizó experiencias y guardó las placas y la sal en un cajón (febrero 1886). Días después reveló las placas esperando que la sal fosforescente emitiera algo, pero poco, y que dejara un tenue rastro en la placa. Descubrió, por el contrario, que la placa estaba muy impresionada. ¡Más que en sus exposiciones habituales al sol que siempre estimulaban mucho la fosforescencia de la sal!.

¿Cómo proceder ante este hecho?

Experimentos de Becquerel:

Una vez conocido el fenómeno y para estudiarlo cuantitativamente definió:

- Las variables a medir: Tiempo de exposición de la placa a la sal, intensidad de la mancha y masa de la muestra.
- Métodos de manipulación para variar los factores de uno en uno y observar su influencia.

- 1.- Experimentó con diferentes minerales de uranio y obtuvo siempre el mismo resultado. Tanto si los exponía a la luz como si no persistía la emisión de rayos.
- 2.- Interpuso placas de vidrio entre la sal y la placa y comprobó que los rayos pasaban igual.
- 3.- Cambió de posición la placa respecto a la muestra de sal y la placa se ennegrecía igual.
- 4.- Puso las muestras al lado de un electroscopio cargado y observó que ionizaban el aire y se descargaba rápidamente.
- 5.- Aumentó la masa del compuesto de uranio y comprobó que la rapidez con que la placa se ennegrecía aumentaba.
- 6.- Calentó la sal, la enfrió, la trituró, la disolvió en ácidos, y la emisión de radiación no varió con ninguno de estos cambios.

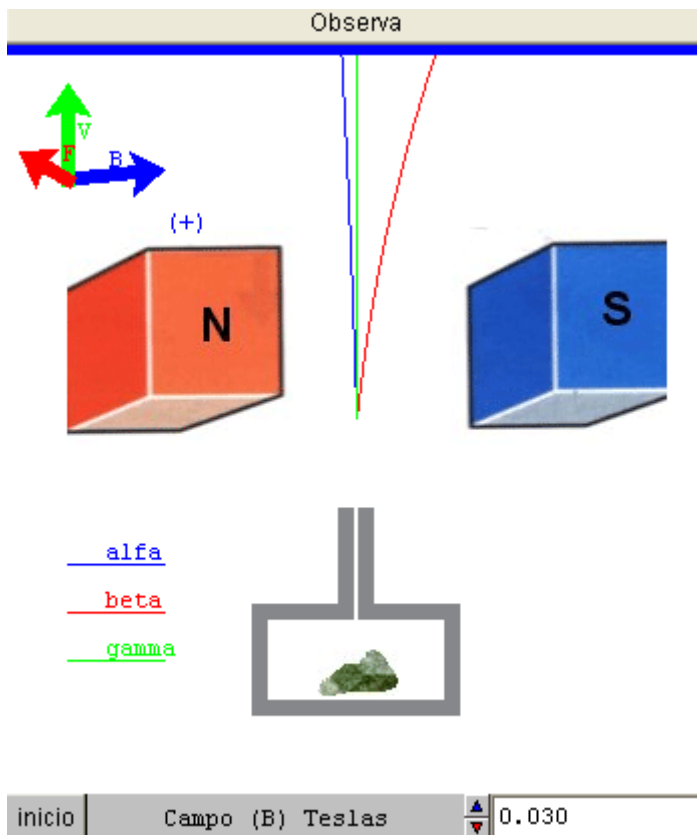
Actividad: ¿Qué conclusiones puedes sacar de cada tipo de experiencia y del proceder de Becquerel?. Escríbelas en tu libreta. Si no se te ocurre nada (sin hacer trampas) consulta en:

Conclusiones generales de las experiencias de Becquerel

Lo más curioso de esta radiación es que:

- Es espontánea, no requiere aporte de energía externa para iniciarse como ocurre en la fosforescencia.
- Es continua y persistente.
- No podemos modificar su ritmo de emisión, ni con calor, ni con ningún agente químico como ocurre en las reacciones químicas.
- Es un fenómeno nuevo: lo que empezó siendo un estudio de la fosforescencia acabó en el descubrimiento de la Radiactividad.
- Es un fenómeno que depende del número de átomos: cuanta más masa, más radiación.
- Es un fenómeno que depende del núcleo de los átomos de uranio y no de los electrones de las capas externas. Los electrones de la parte exterior del átomo son los que intervienen en las reacciones químicas (las reacciones radiactivas son de otro tipo).

Separación de los componentes de la radiación: campo magnético



Sometemos la radiación a un campo magnético establecido entre los polos de un electroimán. La ley de Lorentz establece el valor y el sentido de la fuerza sobre la carga positiva (sobre la negativa es la opuesta).

La fuerza (F) es perpendicular al campo (B) y a la velocidad (v). La fuerza aplicada sobre la partícula alfa (+) está dirigida hacia dentro del monitor.

La fuerza sobre la partícula beta está dirigida hacia nosotros y la desvía hacia arriba.

El campo magnético de un imán es de 0.1 a 1 Tesla.

$$F = q [v \wedge B]$$

$$F = m \cdot a = m \cdot v^2 / R$$

$$R = m \cdot v / q \cdot B$$

Observa: Sobre cada partícula se ejerce una fuerza diferente, perpendicular al campo -B- y a su velocidad y de sentido dado por la ley de Lorentz (regla de la mano izquierda). Si aumentas el valor del campo, la separación será mayor. Aunque el haz de partículas no tiene color, se les asigna uno para diferenciarlos.

Los electrones tienen menos masa y mayor velocidad que las partículas alfa, la fuerza sobre ellas es mayor y la curva que describen es muy cerrada. Una curva muy abierta tiene un radio de curvatura muy grande (con un $R = \infty$ la trayectoria sería la de una línea recta). **Por lo tanto las partículas beta se desvían más que las alfa ya que tienen una trayectoria más cerrada, de radio más pequeño que el de la curva de las alfa.**

Relación de los radios de curvatura

Una partícula cargada que está sometida a un campo magnético sufre una fuerza perpendicular a su trayectoria que le hace describir una circunferencia de radio

$$R = m \cdot v / q \cdot B$$

Lanzamos las dos partículas dentro de un mismo campo magnético. Para la partícula β el radio será:

$$R_{\beta} = m_{\beta} \cdot v_{\beta} / q_{\beta} \cdot B$$

Para la partícula α el radio será:

$$R_{\alpha} = m_{\alpha} \cdot v_{\alpha} / q_{\alpha} \cdot B$$

Dividiendo miembro a miembro las ecuaciones de los radios:

$$R_{\beta} / R_{\alpha} = m_{\beta} \cdot v_{\beta} \cdot q_{\alpha} \cdot B / q_{\beta} \cdot B \cdot m_{\alpha} \cdot v_{\alpha} = m_{\beta} \cdot v_{\beta} \cdot q_{\alpha} / q_{\beta} \cdot m_{\alpha} \cdot v_{\alpha}$$

La masa de las partículas β es 1830 veces menor que la de un protón. Por lo tanto, como la partícula α está formada por dos protones y dos neutrones de masa casi igual, tiene una masa 7320 veces mayor. En realidad este número es bastante menor porque la partícula beta lleva una velocidad muy alta y por los efectos relativistas su masa es mayor. Pero lo dejaremos así para un primer cálculo estimativo.

La carga de la partícula α es doble de la β .

La velocidad de las partículas β es casi la de la luz y las de las α 15000 km/s (casi unas 20 veces menor),

Sustituyendo en la relación unos valores en función de los otros:

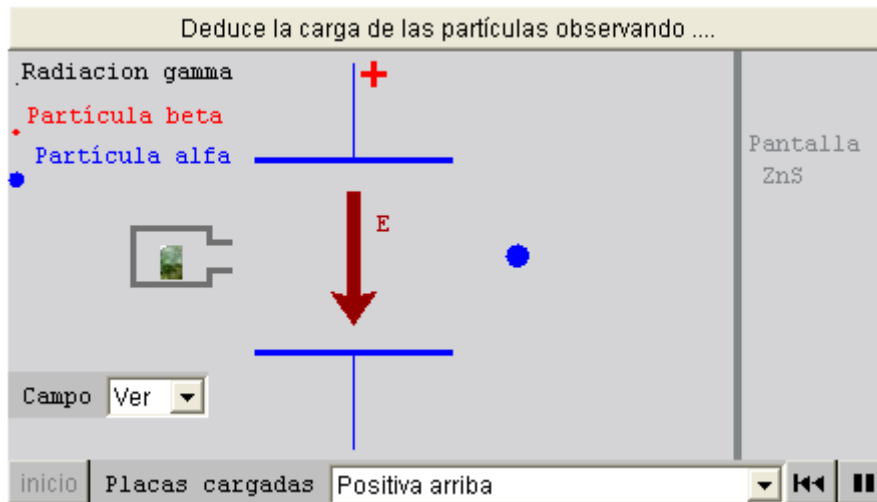
$$R_{\beta} / R_{\alpha} = m_{\beta} \cdot v_{\beta} \cdot q_{\alpha} / q_{\beta} \cdot m_{\alpha} \cdot v_{\alpha} = m_{\beta} \cdot 20 \cdot v_{\alpha} \cdot 2 q_{\beta} / 7320 m_{\beta} \cdot v_{\alpha} \cdot q_{\beta} = 40 / 7320$$

$$R_{\beta} = R_{\alpha} / 183$$

El radio de curvatura de la trayectoria de las partículas β es 183 veces menor que el de las α , por lo tanto da una curva más cerrada. Por lo dicho de la masa de los electrones moviéndose muy rápidos, este número será menor.

Separación de los componentes de la radiación: campo eléctrico

El primer paso para estudiar las radiaciones es separar sus componentes sometiénolas a un campo eléctrico y después analizarlos de uno en uno. Las partículas se aceleran de manera desigual y en direcciones opuestas porque tienen diferente masa y carga.



Hacemos pasar la radiación por un campo eléctrico establecido entre dos placas cargadas con cargas opuestas.

La desigual fuerza ejercida sobre cada componente les comunica una aceleración diferente y los separa.

$$F = Q \cdot E$$

$$F = M \cdot a$$

$$a = Q \cdot E / M$$

Deduce la carga de las partículas observando... cómo se mueven en el campo. Las partículas se desviarán según la dirección del campo eléctrico (el sentido del campo va de la placa positiva a la negativa). Las de carga positiva aceleran en la dirección del campo desviándose hacia la placa negativa. En sentido contrario se mueven las negativas

La carga de una partícula alfa es: $Q = + 2 \cdot$ carga electrón;

Masa de la partícula alfa (2 p +2 n) = aprox (4·protones).

La masa del electrón en reposo es 1830 veces menor que la del protón.

Las partículas beta (electrones) llevan una velocidad máxima de 0.95 c (95% la velocidad de la luz). Debido a esa velocidad y por los efectos relativistas tienen una masa mayor que en reposo.

Partículas alfa



Las partículas alfa son núcleos de Helio (átomos de He sin su capa de electrones). Constan de 2 protones y 2 neutrones confinados en un volumen equivalente al de una esfera de 10^{-5} m de radio.

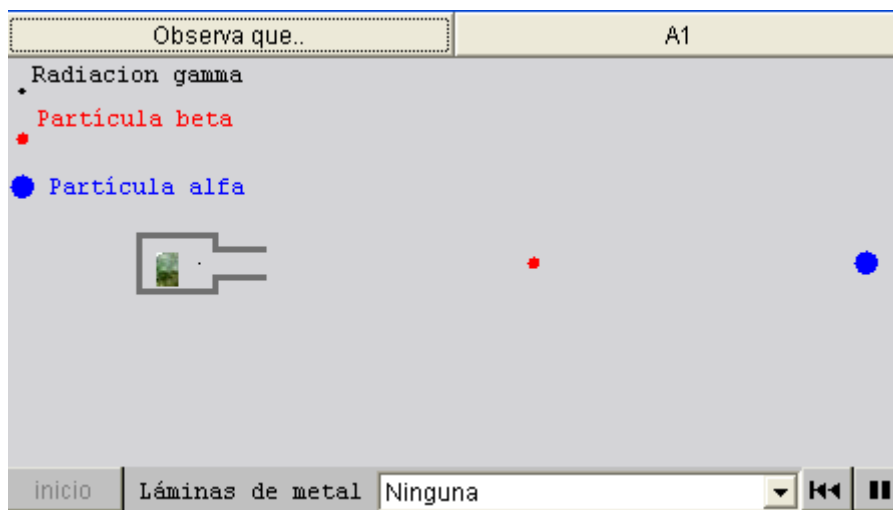
Características:

Son **partículas muy pesadas**, casi 8000 veces más que los electrones y 4 veces más que un protón.

Tienen **carga positiva (+2) debido a la ausencia de los electrones y son desviadas por campos eléctricos y magnéticos.**

Alcanzan una velocidad igual a la veinteava parte de la de la luz ($c/20$) = 15000 km/s. ¡Una gran velocidad!

Poseen una gran **energía cinética** ya que tienen mucha masa y una gran velocidad.



Observa que... las sustancias radiactivas lanzan las radiaciones con distinta velocidad. Un mismo tipo de radiación sale con más o menos velocidad. La

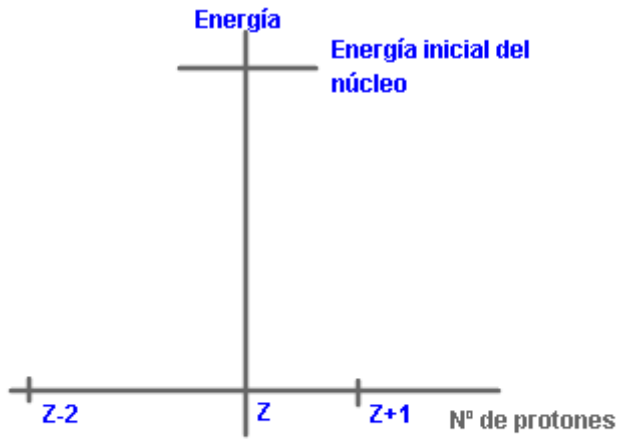
velocidad máxima de cada tipo de partículas da su poder de penetración. ¿Qué partícula es la más penetrante? ¿Cuál es la menos? ¿Qué material protege mejor de la radiación?

A1: Comprueba si todas las láminas de los materiales que se mencionan detiene las partículas alfa

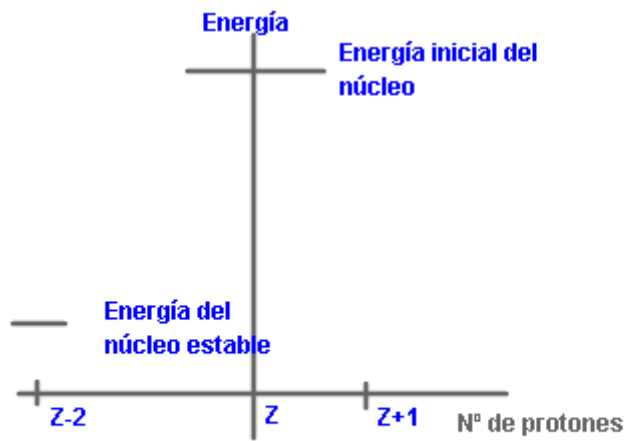
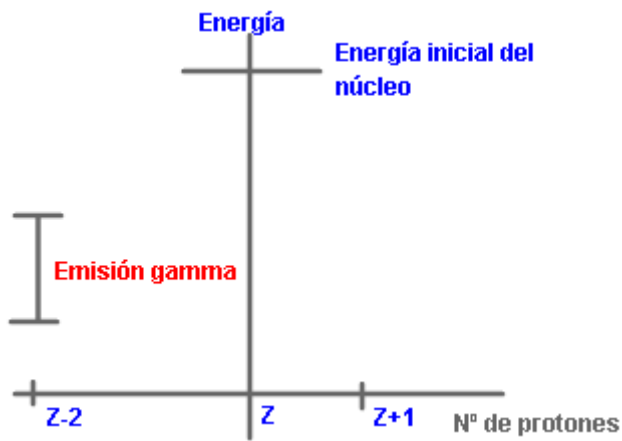
Debido a su gran energía, al atravesar el aire ionizan muchas partículas antes de atenuarse después de recorrer 5 cm. Debido a su tamaño, al impactar con la materia sólida recorren poca distancia. Una lámina de aluminio de 0,1 mm de grosor las frena totalmente e impide su paso, pero ionizan fuertemente la materia en la que inciden.

Cuando se forman las partículas alfa, el núcleo pasa del estado inicial a otro excitado de menor energía. Para salir de este estado y quedar estable emite radiación γ .

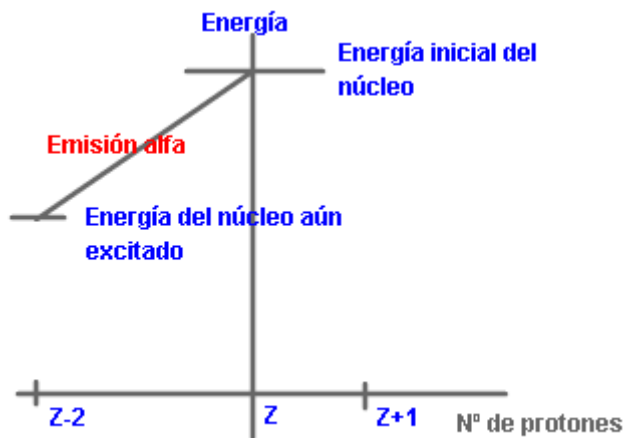
Cambio de estado energético: emisión alfa



iniciar emisión alfa



La emisión de una partícula alfa ocurrió porque el núcleo expulsó dos neutrones y dos protones unidos formando la partícula alfa



Partículas beta

Las partículas beta son electrones moviéndose a gran velocidad (próxima a la de la luz $0.98 \cdot c = 270000 \text{ km/s}$).

Inicialmente la radiación beta no fue reconocidas como lo que era: un haz de electrones. La partícula beta fue identificada como un electrón cuando, aplicando la teoría de la relatividad, se calculó la masa de un electrón en movimiento que coincidía con la de la partícula beta. Tiene una masa m mayor que la m_0 de un electrón en reposo.

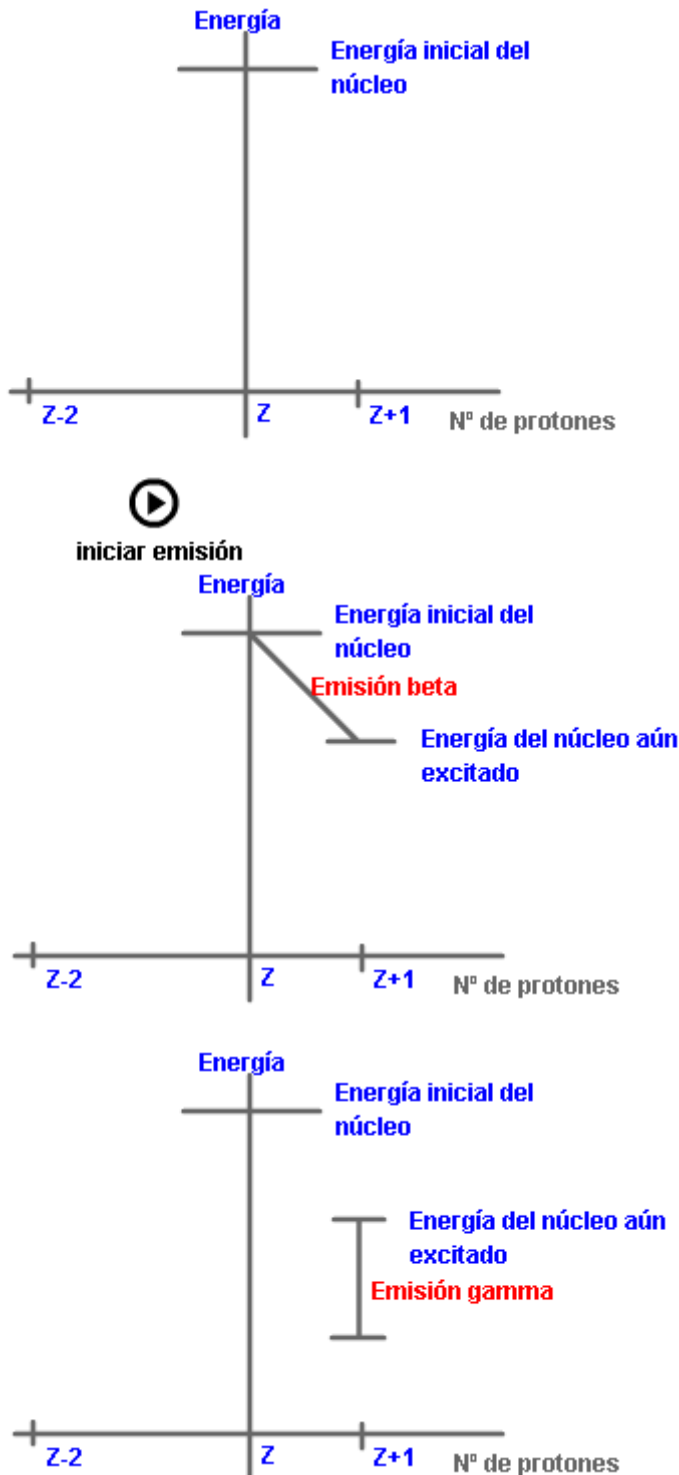
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 0,98^2}} = 5 m_0$$

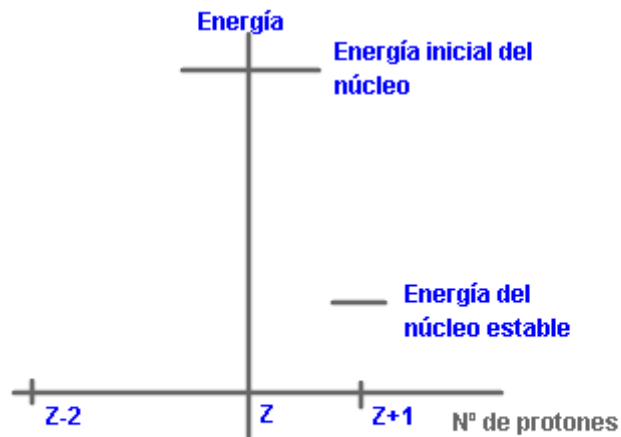
m_0 es igual a la masa del protón dividida por 1830 (casi 2000 veces menor). Tienen carga negativa (-1) y son desviadas por campos eléctricos y magnéticos.

Tienen energía cinética menor que las partículas alfa porque aunque tienen una gran velocidad tienen muy poca masa.

La energía que transporta la partícula beta procede del paso de un estado inestable de un isótopo radiactivo a otro también excitado. La caída desde este estado a otro inferior estable no va acompañada de una emisión γ .

Cambio de estado energético: emisión beta





La emisión de una partícula beta ocurrió porque en el núcleo un neutrón se transformó en protón (Z del núcleo aumentó en una unidad)

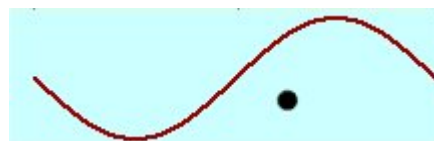
A pesar de tener menor energía que las alfa, como su masa y su tamaño son menores tienen mayor poder de penetración. Una lámina de aluminio de 5 mm las frena.

Se usan isótopos radiactivos del yodo en el tratamiento del cáncer de tiroides porque el yodo es absorbido por el tiroides y emite partículas beta que matan las células cancerosas.

Utilizando esta escena comprueba que lámina mínima debe utilizarse para detenerlas.

Radiación gamma

Las "partículas" gamma son una radiación electromagnética (una onda) que acompaña a una emisión de partículas alfa o beta. Una radiación también puede considerarse como una partícula de acuerdo con la teoría de De Broglie que afirma que toda onda lleva una partícula asociada (las ondas luminosas llevan asociados los fotones).



Características

No tienen masa en reposo y se mueven a la velocidad de la luz.

No tienen carga eléctrica y no son desviadas por campos eléctricos ni magnéticos.

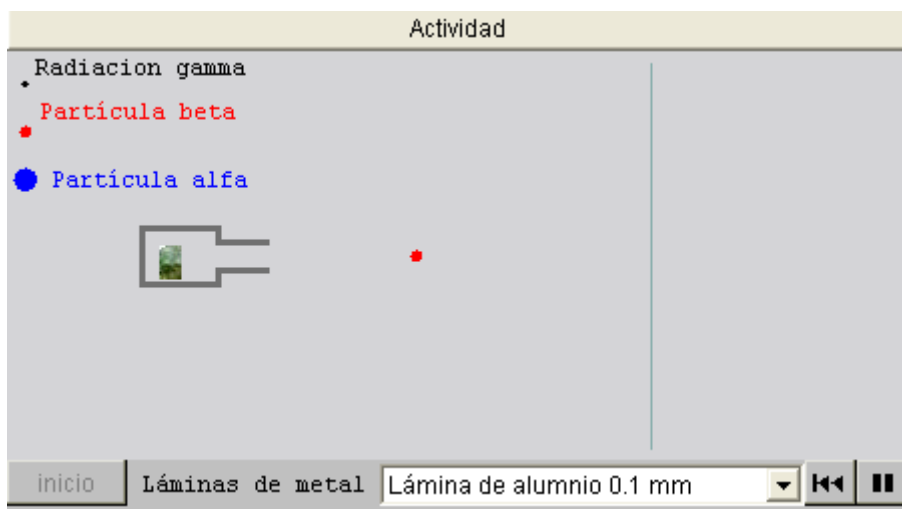
Poder de penetración

Al no tener masa tienen poco poder ionizante, pero son muy penetrantes. Los rayos gamma del Ra atraviesan hasta 15 cm de acero.

Son ondas como las de la luz pero más energéticas aún que los rayos X.

Un compuesto radiactivo que se absorba en una glándula y emita radiación gamma permite estudiar esa glándula obteniendo una placa, como la fotográfica, con las radiaciones emitidas. La técnica se llama **gammagrafía**.

Actividad: Lanza esta escena para averiguar qué tipo de material y qué espesor debe tener para detener estas radiaciones.



Actividad: La radiación gamma es muy difícil de detener. Es una radiación de gran frecuencia y por lo tanto con una partícula asociada muy pequeña que se cuela a través de la materia. Por esta misma razón ioniza menos que los electrones y las partículas alfa. ¿Qué espesor de plomo se requiere para detenerlas? Averígualo en la escena.

Lugar de origen de la radiación

Las radiaciones salen del núcleo de los átomos radiactivos y se originan por:

- transformaciones de neutrones en protones, en la emisión beta.
- inestabilidad en los núcleos de mayor masa ($Z > 82$), en la emisión alfa. Gamow y otros científicos explicaron, por Mecánica Cuántica, cómo a pesar de tener de media una energía insuficiente, un grupo de protones y neutrones pueden escapar de la fuerza nuclear fuerte agrupados en una partícula alfa.

Para saber más sobre el núcleo y sobre las fuerzas nucleares utiliza [este enlace](#).

<http://particleadventure.org/particleadventure/spanish/index.html>

Relación de términos referidos a las características de los núcleos

Número atómico (Z).

Es el número de protones. Todos los átomos de un mismo elemento tienen el mismo número de protones (el Uranio tiene $Z=92$).

Número másico (A).

Es la suma del número de protones y neutrones. A los protones y neutrones se les llamó **nucleones** por su posición dentro del núcleo.

Núclidos

Son los núcleos de un mismo elemento que son todos iguales entre si, tienen el mismo A y el mismo Z.

Isótopos

Son los átomos de de un mismo elemento que no son totalmente iguales entre si, tienen el mismo Z, pero distinto A, distinto número de neutrones.

Una emisión alfa seguida de dos beta produce un isótopo del átomo inicial con A cuatro veces menor.

Isóbaros

Son los átomos de distintos elementos que tienen el mismo A , pero distinto Z .

¿Cómo pueden permanecer unidos los protones y neutrones en el núcleo?

Podemos explicar la estabilidad nuclear estudiando las fuerzas de unión o la energía de enlace.

a) Las fuerzas de unión

Para que el núcleo sea estable se requiere algún tipo de atracción que de lugar a una fuerza entre los protones que supere la fuerza de repulsión eléctrica de sus cargas.

En la época en que se empezó a estudiar el núcleo sólo se conocían las fuerzas gravitatorias y las electrostáticas. Hoy conocemos la existencia de la [Fuerza Nuclear Fuerte](#) (FNF) de ámbito nuclear, que une a los quarks para formar protones y neutrones.

Fuerza nuclear fuerte

La Fuerza nuclear fuerte que mantiene unidos a los quarks (partículas constituyentes de los neutrones y protones) en el reducido volumen del núcleo, surge del intercambio de gluones entre los quarks.

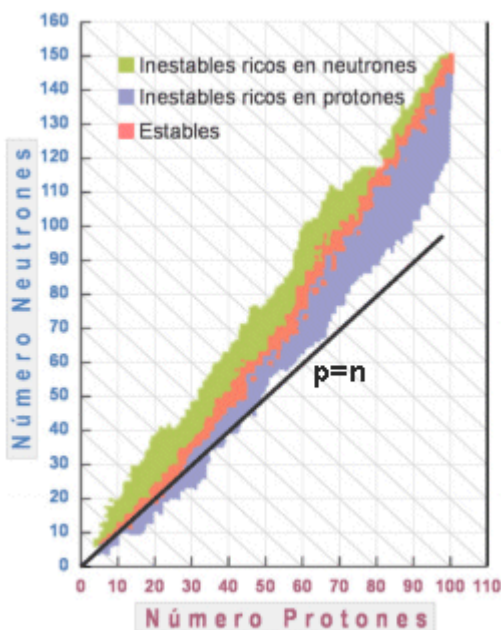
Aunque en el enlace que te sugerimos en la página anterior puedes aprender mucho sobre esta fuerza, te mostramos aquí un resumen de sus características:

- Es de corto alcance (sólo actúa en el ámbito del núcleo, unos pocos Fermios: $10 - 15 \text{ m}$).
- No depende de la carga eléctrica de las partículas.
- Es de carácter saturado: se satura con los núcleos próximos y aunque existan muchos núcleos en las proximidades no influyen en el aumento de la fuerza. Al contrario de ella la gravitatoria crece más cuantos más

núcleos estén próximos: retirar una partícula es más difícil cuantas más partículas estén en las proximidades.

- 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).

Una parte de la FNF (**fuerza residual**) alcanza más allá del protón o del neutrón y ejerce atracción entre los quarks de protones y neutrones vecinos. El resultado es la atracción de los protones y neutrones entre sí. La FNT supera la repulsión de la carga eléctrica de los protones y origina un núcleo estable que sólo se puede romper con un aporte externo de energía.



La consecuencia apreciable de la estabilidad que estas fuerzas confieren a los núcleos, y que podemos observar disponiendo los núcleos estables y los no estables en un diagrama de neutrones frente a protones, es que:

- Los núcleos ligeros estables contienen igual número de neutrones que de protones.
- Los núcleos pesados estables tienen una relación neutrones / protones mayor que los ligeros.
- Por encima de $Z=82$ (plomo) aunque el número de neutrones es mayor que el de protones, los núcleos no son suficientemente estables.

b) La energía

La estabilidad nuclear se puede explicar desde el punto de vista energético. Midiendo la variación entre la suma de la masa de los protones y neutrones cuando están separados y su masa cuando están juntos formando el núcleo, se puede deducir la energía de enlace entre ellos.

La diferencia de masa se llama defecto másico Δm .

Para hallar la energía de ligadura del núcleo utilizamos la equivalencia entre masa y energía expresada en la ecuación de Einstein: $\Delta E = \Delta mc^2$.

Defecto másico

Defecto Másico => Energía de ligadura

La diferencia entre la masa calculada sumando la de todos los neutrones y protones de un núcleo antes de unirse y la medida para el núcleo ya formado con la unión de todos ellos, se llama:

Defecto Másico

$Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n$

M

La suma de la izquierda es mayor que M

Un núcleo de un átomo X



Tiene Z protones con una masa de : $Z \cdot m_p$

Y los $(A - Z)$ neutrones tienen una masa de : $(A - Z) \cdot m_n$

La masa que calculamos para todos es: $Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n$

Al medir la masa del átomo encontramos que tiene una masa

M



La masa de los electrones (casi 2000 veces menor que los protones y neutrones) apenas influye en la masa del átomo.

Podemos, a efectos de medir su masa, considerar el átomo formado sólo por protones y neutrones



Esta masa medida de un átomo, es menor que la que obteníamos sumando la masa de los Z protones y los $(A - Z)$ neutrones que lo forman.

La suma de la masa de los neutrones y protones separados es mayor que cuando están unidos en el núcleo



$$Z m_p + (A - Z) \cdot m_n - M = \Delta m$$

La diferencia de masa es el defecto másico

Por la ecuación de Einstein : $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

Siendo "c" la velocidad de la luz

sabemos que a este Δm le corresponde una energía ΔE

ΔE que es la energía de ligadura

La energía de ligadura por nucleón es : $\frac{\Delta E}{A}$



El defecto másico que se detecta al formarse un núcleo estable, es el que determina la energía de ligadura de ese núcleo

Para romper un núcleo hay que aportar una energía equivalente o mayor que su energía de ligadura

Si en un proceso desaparece la masa de una u.m.a. (unidad de masa atómica), se libera esta energía:

Según la ecuación de Einstein $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

Teniendo en cuenta que una u.m.a = u (unidad de masa atómica) es

$1,6605 \cdot 10^{-27}$ kg y que la velocidad de la luz son $2,9970 \cdot 10^8$ m/s

$\Delta E = 1,6605 \cdot 10^{-27} \cdot (2,9970 \cdot 10^8)^2 = 1,4924 \cdot 10^{-10}$ J

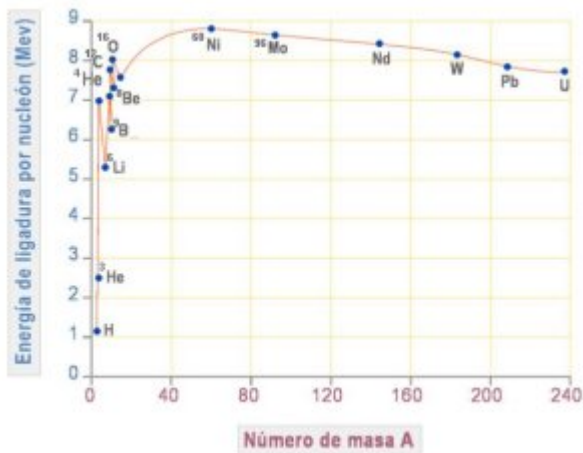
$1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ C}$

Recuerda que la carga de un electrón es $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Le energía de 1 e·V equivale en julios a: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$\Delta E = 1,4924 \cdot 10^{-10} \text{ J} / 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 931,47 \cdot 10^6 \text{ eV} = 931,47 \text{ MeV}$

Como la energía de enlace o ligadura de todo el núcleo depende del número de nucleones, para establecer una escala comparativa de la estabilidad de distintos átomos se divide la energía de ligadura por el número de nucleones (número másico, A) obteniéndose el concepto de **Energía de Ligadura por nucleón (E /A)**.



En la gráfica observamos que la mayor energía de ligadura se produce sobre A= 60 con un valor superior a 8 Mev/nucleón.

Las reacciones nucleares que conduzcan a la producción de átomos con mayor energía de ligadura por nucleón que los iniciales liberarán energía.

Se pueden predecir los dos tipos de reacciones radiactivas conducentes a liberación de energía: **procesos de fisión** (los átomos de A alto rompen y dan núcleos con A en torno a los 60) y **fusión** (los átomos ligeros se unen y dan núcleos con mayor E /A).

Fisión y Fusión son dos tipos de reacciones que producen liberación de energía. Producen núcleos más estables.

Reacciones de fusión.

Los átomos de H se unen para dar Helio formando un núcleo más estable.

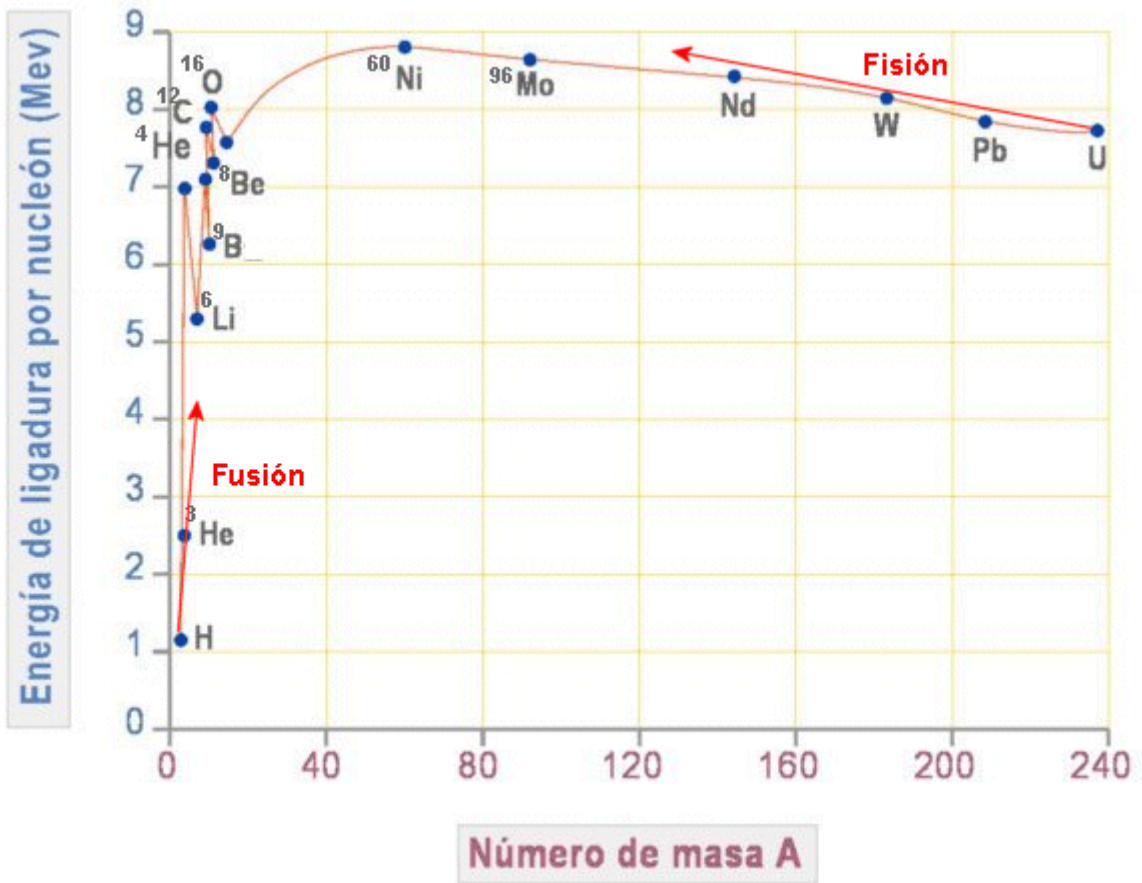
En el proceso de formación de He a partir de H se libera energía.

El He tiene más energía por nucleón, es más estable que el H y por tanto hay que aportar energía para romperlo

Reacciones de fisión.

Los átomos pesados (por encima del uranio Z = 82) con energía por nucleón menores de 8 MeV/A , rompen para dar átomos con energía por nucleón por encima de 8 MeV/A.

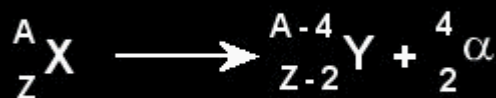
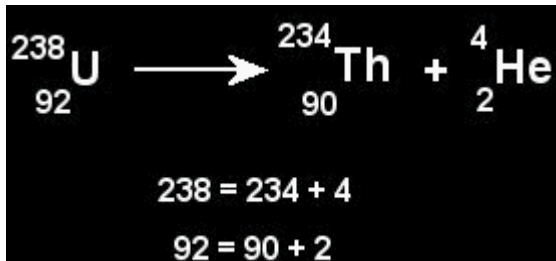
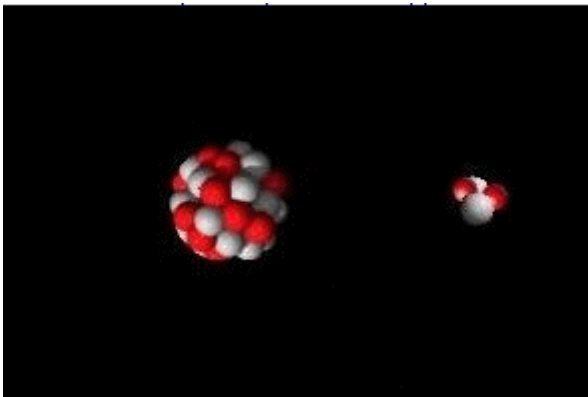
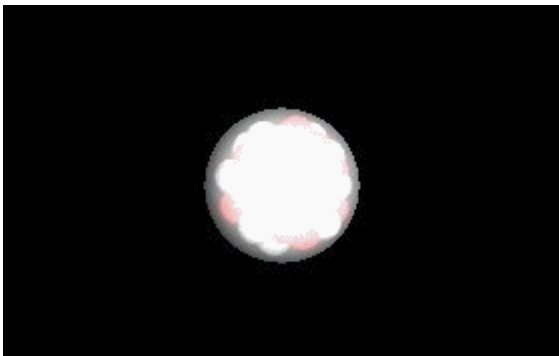
En este proceso se libera energía.



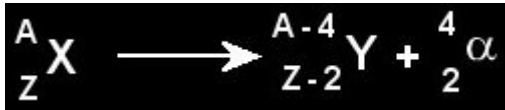
Leyes de la transmutación radiactiva

Soddy y Fajans enunciaron las leyes de la transmutación que rigen el proceso por el que un elemento se transmuta en otro (conseguirlo era el sueño de los alquimistas).

Emisión alfa (1ª Ley de Soddy)



Los elementos de núcleos con mucha masa, ($Z > 82$) expulsan espontáneamente partículas alfa (formadas por dos protones y dos neutrones).



En la ecuación vemos que se conservan:

$A = A - 4 + 4$, parte superior de la ecuación.

$Z = Z - 2 + 2$, parte inferior de la ecuación.

Conservación de la cantidad de movimiento

En los procesos radiactivos se cumple el principio de conservación de la cantidad de movimiento: la cantidad de movimiento del átomo antes de la transmutación es igual a la cantidad de movimiento de la partícula y del átomo que se origina.

Si suponemos que el átomo radiactivo inicial está quieto (sería un caso muy especial porque siempre está en movimiento), la cantidad de movimiento del átomo antes de la transmutación es cero.

La partícula sale despedida en una dirección y el elemento formado en la opuesta.

La cantidad de movimiento final también es cero (la de una partícula anula a la de la otra).

$p =$ cantidad de movimiento = masa · velocidad

$p_{\text{Antes}} = p_{\text{Después}}$

$p_A = 0$

$0 = M \cdot v' - m \cdot v$

$M \cdot v' = m \cdot v$

Conservación de energía de la emisión alfa

Teniendo en cuenta que el proceso conocido por radiactividad o desintegración radiactiva se origina para conseguir una mayor estabilidad del núcleo, éste pasa a un nivel menor de energía.

$$\text{Como } \Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

Esta liberación de energía se realiza a través de una disminución de masa.

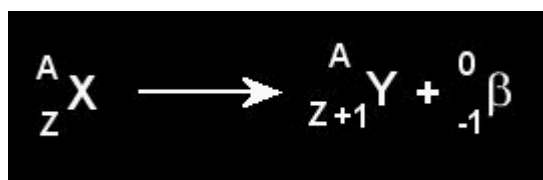
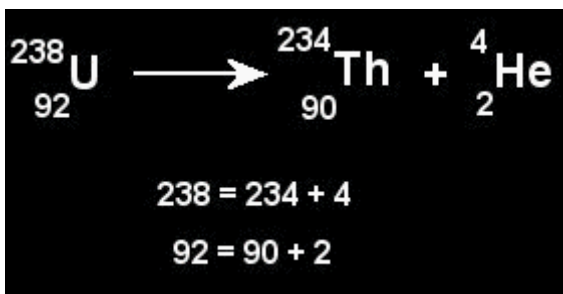
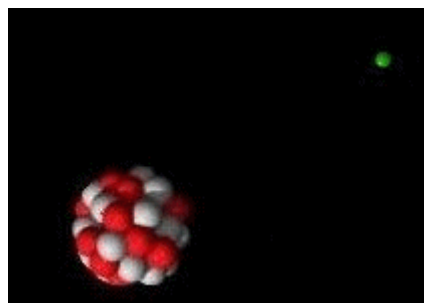
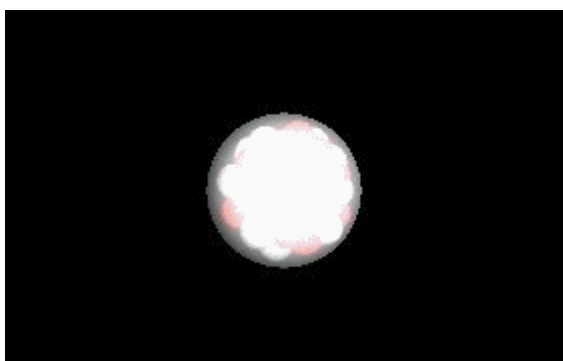
$$\Delta E_{(X,Y)} = \Delta m \cdot c^2$$

$$\Delta E_{(X,Y)} = (m_X - m_Y - m_\alpha) \cdot c^2$$

La energía liberada se manifiesta principalmente en forma de energía cinética de las partículas formadas.

La energía cinética de las partículas alfa les confiere su capacidad ionizadora y su peligrosidad para la vida.

Emisión beta (2ª Ley de Soddy)



La siguiente ecuación expresa la relación entre los elementos y partículas que intervienen en la emisión beta:



La causa de la emisión beta es que, en el núcleo, un neutrón se transforma en un protón y un electrón. El núcleo emite sólo el electrón (partícula beta- β^-) que se forma.



En el proceso se conserva la carga eléctrica.

En la ecuación se conservan:

$A = A$, parte superior de la ecuación.

$Z = Z+1-1$, parte inferior de la ecuación.

Conservación de la cantidad de movimiento en la emisión beta

En los procesos radiactivos la emisión de partículas cumple el principio de conservación de la cantidad de movimiento:

la cantidad de movimiento del átomo antes de la transmutación es igual a la cantidad de movimiento de las partículas y átomos que se originan.

Al estudiar la conservación de la cantidad de movimiento se comprobó que no se cumplía por lo que W. Pauling postuló en 1930 la existencia de otra partícula que llamó **neutrino** ν - partícula escurridiza de masa en reposo cero-. El neutrino se identificó en una reacción en 1958.

En la emisión beta aparece el **antineutrino**, una partícula de antimateria.

Introduciendo esta partícula en los cálculos, se cumple el P.de conservación de la cantidad de movimiento.

Si suponemos que el átomo inicial está quieto, la cantidad de movimiento antes de la transmutación será cero.

La partícula beta sale despedida en una dirección y el neutrino y el elemento formado en otra.

La suma de sus cantidades de movimiento será cero.

Sumados los vectores dan cero (unos neutralizan a los otros).

\mathbf{p} = cantidad de movimiento = masa · velocidad

$\mathbf{p}_{\text{Antes}} = \mathbf{p}_{\text{Después}}$

$\mathbf{p}_A = 0$

$0 = M \cdot v' - m \cdot v$

$M \cdot v' = m \cdot v$

Conservación de energía en la emisión beta

El proceso conocido por radiactividad o desintegración radiactiva se origina para conseguir mayor estabilidad del núcleo. Esto supone que el núcleo pasa a un nivel menor de energía.

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

Esta liberación de energía se realiza a través de una disminución de masa:

$\Delta E_{(X,Y)} = \Delta m \cdot c^2$

La masa del electrón la despreciamos porque es mucho menor (1830 veces) que la del protón y la del neutrón:

$\Delta E_{(X,Y)} = (m_X - m_Y) \cdot c^2$

Hallando la variación de masa podemos calcular la energía asociada al proceso:

$\Delta E_{(X,Y)} = (m_n - m_p) \cdot c^2$

$\Delta E_{(X,Y)} = (1,008665 - 1,007276)u = (1,008665 - 1,007276)u \cdot 931,7 \text{ Mev/u} = 1,29 \text{ Mev.}$

Esta es la energía máxima que puede llevar el electrón emitido.

Magnitudes

[Constante radiactiva](#) | [Actividad](#) | [Periodo de semidesintegración](#) | [Vida media](#)

Conceptos previos

Masa atómica.

Cada isótopo de un elemento tiene una masa atómica que corresponde a la masa de los protones y neutrones que lo forman disminuida en una cantidad relacionada con la energía de enlace de dicho núcleo por la ecuación de Einstein: $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$.

La masa atómica de un elemento viene condicionada por el porcentaje en que se encuentran en la naturaleza los isótopos que lo forman.


Ej: El uranio natural (masa atómica 238,07) tiene diferentes isótopos y cada uno en diferente proporción ^{235}U (0,71%), ^{238}U (99,28%), ^{234}U (0,006%).

La unidad de masa atómica es la u.m.a = $1,6605 \cdot 10^{-27}$ kg (es la 1/12 de un átomo de carbono ^{12}C . ¡Una cantidad muy, muy pequeña!


La desaparición de una u.m.a transformada en energía produce 931 Mev (mega electrón voltio). $1 \text{ e.V} = 1,69 \cdot 10^{-19}$ julios tal como predice la Ecuación de Einstein.


Conceptos

Este núcleo contiene



Núcleo de Uranio

92 

146 



Protones

Neutrones

Z = 92

N = A - Z

A = 238 *Es el número másico*

 y  **son los Nucleones**


Los núcleos que tienen igual Z y A se denominan núclidos (son todos núcleos del mismo elemento químico).

Se llaman isótopos los diferentes núclidos de un elemento que se difrencian sólo en su número de neutrones .

▶

²³
6,023·10²³

átomos



forman un Mol de este isótopo del uranio

²³⁸
92 U

La masa de 1 Mol de átomos de este isótopo es 238,5 g

Los 238,5 g corresponden a la suma de la masa de 92 protones y los 146 neutrones menos la masa correspondiente a la energía de enlace.

$$m_{\text{átomo}} = m_n + m_p - \frac{\Delta E}{c^2}$$

Número de Avogadro y Masa atómica

Un mol de cualquier isótopo es igual a $6,023 \cdot 10^{23}$ átomos idénticos. Este número tan grande es el llamado Número de Avogadro. La masa de este conjunto de átomos se llama Masa atómica.

N^a de moles = masa sustancia / Masa atómica.

1 mol de átomos de un isótopos => $6,023 \cdot 10^{23}$ átomos.

Constante radiactiva.

La constante radiactiva o constante de desintegración (λ), es un coeficiente de proporcionalidad que regula la igualdad entre los átomos que desaparecen en un tiempo t , ($-dN$) con los iniciales átomos iniciales (N_0) para cada núclido radiactivo :

$$-dN = -\lambda N dt$$

Si la expresión anterior la ponemos en la forma: $-dN / N_0 dt = \lambda$

λ mide la probabilidad de transformación de un átomo en la unidad de tiempo que se tome (segundo, hora, año, etc). Si de 100 átomos iniciales se desintegra 1 en un segundo, la probabilidad de desintegración es $1/100 = 0,01 = 1\%$ por segundo.

La unidad es s^{-1} (o cualquier unidad de tiempo elevada a menos uno)

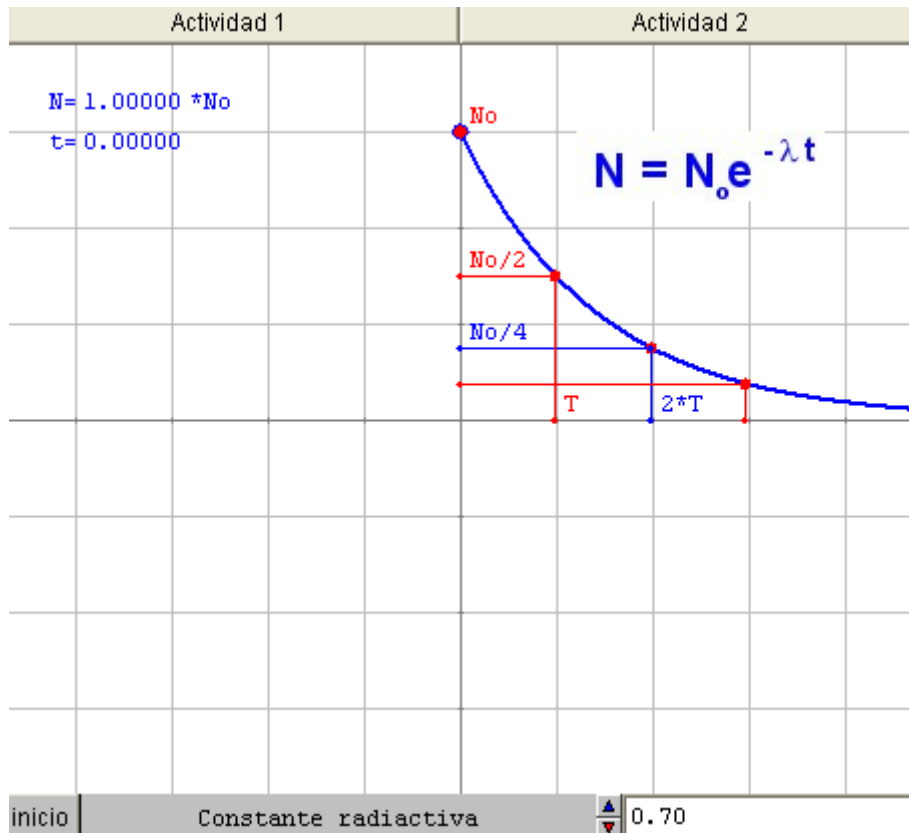
Así si λ del Ra es $0,00042 \text{ años}^{-1} = 1 / 2330$ por año, indica que la probabilidad de desintegración radiactiva es de un átomo por cada 2330 átomos radiactivos en un año ($0,00042 = 0,042\%$). Esto puede parecer poco, pero recuerda que 1 mol de uranio (238,02 g) contienen $6,02 \cdot 10^{23}$ átomos. Como la vida media es:

$$t_{\text{media}} = \frac{1}{\lambda}$$

para el uranio, la vida media es 2330 años.

Ver conceptos relacionados: [Periodo de Semidesintegración](#) y [Vida Media](#).

Expresión matemática de la ley de desintegraciones radiactivas



Actividad 1: Mueve el punto rojo sobre la curva. Comprueba el tiempo necesario para que los N_0 iniciales se conviertan en $N_0/2$.

Las unidades de tiempo dependen de las de la constante radiactiva: si las de esta son 1/años, el tiempo se expresa en años; si son 1/s, el tiempo se medirá en segundos. Comprueba que una vez transcurrido T (semiperiodo), necesitamos que transcurra otro tanto tiempo para que sólo desaparezcan la cuarta parte de los átomos iniciales.

Según transcurre la desintegración, en un mismo tiempo T , se desintegran cada vez menos átomos

Actividad 2: Comprueba que cuanto más grande sea la constante radiactiva, menor es el periodo de semidesintegración.

$N = N_0 e^{-\lambda t}$ Esta expresión permite calcular los N átomos que quedan después de un tiempo t .

Partimos de N_0 átomos iniciales de una determinada sustancia radiactiva de constante λ . Después de un tiempo t quedan N átomos.
La expresión exponencial, puede expresarse también de esta forma:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Expresión matemática de la ley de transmutaciones radiactivas

Tenemos una sustancia radiactiva que contiene N_0 átomos y va a comenzar una desintegración de constante radiactiva λ . Al cabo de un tiempo t , quedarán sin desintegrarse N átomos de la población inicial.

Los átomos transmutados serán:

$$N - N_0 = \Delta N$$

Como hay menos átomos finales que iniciales para hacer el incremento positivo (final menos inicial) ponemos el signo menos. Establecemos una correspondencia entre los que se transmutan y los iniciales en un tiempo que va a ser regulada por la constante de desintegración para cada sustancia.

$$-\Delta N = N_0 \lambda \cdot \Delta t$$

Para un tiempo muy pequeño:

$$-dN = N_0 \lambda \cdot dt$$

$$-\frac{dN}{N_0} = \lambda \cdot dt$$

Integrando:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N_0} = \int_0^t -\lambda \cdot dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda \cdot t$$

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

Esta expresión muestra los átomos que quedan sin desintegrarse, N, de una población inicial de N_0 .

El N de átomos de la sustancia radiactiva (la consideramos aislada de las que origina, fijándonos sólo en sus átomos) es función de la constante de desintegración radiactiva y del tiempo.

El número de átomos que permanece sin transmutarse sufre una disminución exponencial.

Se puede expresar en función del periodo de semidesintegración adquiriendo la ecuación la siguiente forma:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Ver transformación.

Si partimos de la expresión del semiperiodo

$$t = T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$\ln 2 = \lambda T_{1/2}$$

$$e^{\lambda T} = 2$$

Extraemos la raíz T de los dos miembros:

$$e^{\lambda} = \text{raíz } T \text{ de } 2$$

Elevamos las dos expresiones a "t":

$$e^{\lambda t} = 2^{t/T}$$

La inversa de la expresión es:

$$e^{-\lambda t} = 2^{-t/T}$$

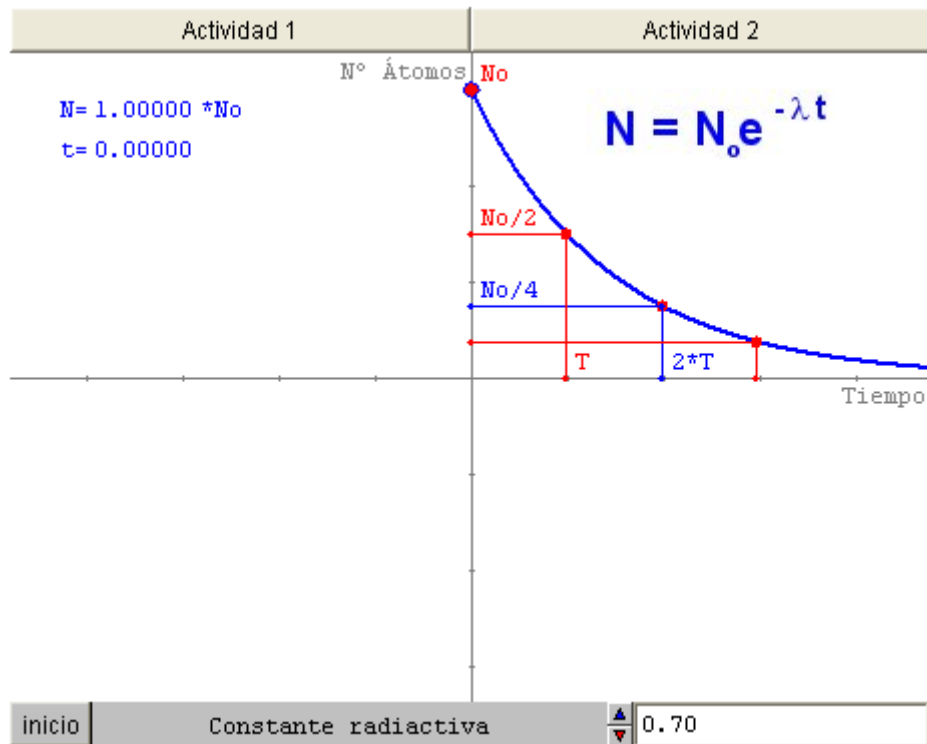
Sustituyendo la expresión anterior en la expresión:

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

obtenemos:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

2ª expresión del decaimiento exponencial



Magnitudes: actividad

La actividad de una muestra de una sustancia radiactiva es el número de núcleos que desaparecen por unidad de tiempo y representa la velocidad de desintegración. Depende de la cantidad de muestra y sus unidades son: el Curie y el Rutherford.

$$\text{Actividad} = \frac{dN}{dt} = \lambda N$$

La actividad es mayor cuanto mayor sea la constante radiactiva (λ) y el número de núcleos presentes.

La actividad inicial de un isótopo es mayor inicialmente que cuando ya se

transmutaron algunos núcleos, siempre que el isótopo que se forme no sea también radiactivo en cuyo caso tenemos una [serie radiactiva](#).

$$\text{Actividad inicial} = \lambda N_0$$

Si multiplicamos los dos términos de la siguiente expresión

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{por } \lambda :$$

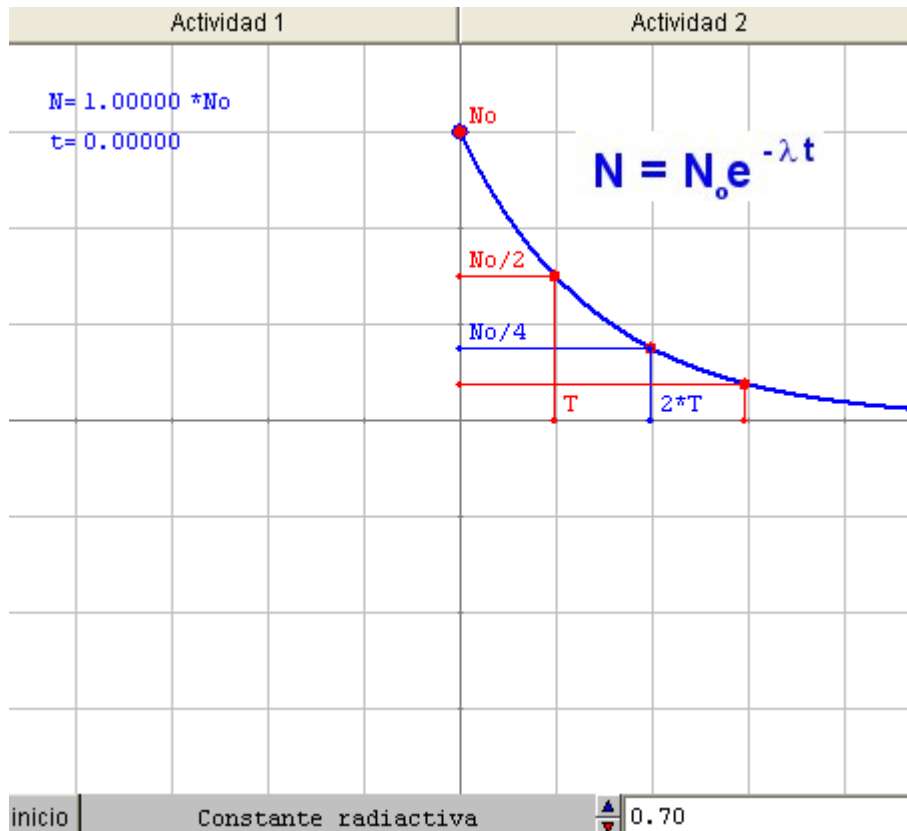
obtenemos al sustituir A por λN $A = A_0 e^{-\lambda t}$

Esta es la expresión de la actividad de los isótopos de un solo tipo presentes en una muestra. [Su valor disminuye exponencialmente, lo mismo que el número de átomos que se transmutan](#).

Magnitudes: Periodo de semidesintegración

La radiactividad no es un fenómeno periódico, en ella no se repite nada cíclicamente.

Se llama periodo de semidesintegración el tiempo que tardan en transmutarse la mitad de los átomos radiactivos de una muestra: el necesario para que los N_0 átomos iniciales pasen a $N_0 / 2$. En ese tiempo se forman $N_0 / 2$ átomos diferentes (transmutados de los iniciales.)



Actividad 1: Mueve el punto rojo sobre la curva. Comprueba el tiempo necesario para que los N_0 iniciales se conviertan en $N_0/2$. Las unidades de tiempo dependen de las de la constante radiactiva: si las de ésta son 1/años, el tiempo se expresa en años; si son 1/s, el tiempo se medirá en segundos. Comprueba que una vez transcurrido T (semiperiodo), necesitamos otro tanto tiempo para que sólo desaparezcan la cuarta parte de los átomos. Según transcurre la desintegración para el mismo tiempo se desintegran cada vez menos átomos

Actividad 2: Comprueba que cuanto más grande sea la constante radiactiva menos es el periodo de semidesintegración. Para ello aumenta el valor de la constante con el ratón y comprueba en la escena que el valor de T se hace más pequeño

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Si tenemos un millón de átomos radiactivos y el periodo de semidesintegración es un año, tardarán un año en convertirse en 500.000.

Pero transcurrido otro año aún quedarán 250.000, y en otro más quedarán 125.000. Cada vez se desintegran menos átomos en un mismo tiempo.

N_0 átomos iniciales tardan $T_{1/2}$ en ser $N_0/2$

Debido a la forma exponencial de desintegración, la muestra tarda mucho en convertirse en inactiva. Esto, unido a que no se pueden acelerar los procesos de desintegración, es uno de los peligros de la radiactividad.

Cálculos matemáticos del periodo de semidesintegración.

Partimos de la fórmula de la desintegración radiactiva:

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

Llamamos periodo de semidesintegración al tiempo que tardan una población de átomos en reducirse a la mitad.

Sustituimos el número de átomos N en un momento dado, por el valor de los iniciales dividido por 2 (se reducen a la mitad):

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

Tenemos:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t}$$

Haciendo operaciones (eliminando y tomando logaritmos) queda:

$$-\ln 2 = -\lambda t$$

Como el tiempo t que ha transcurrido para que los átomos iniciales se redujeran a la mitad por la transmutación del resto, tenemos:

$$t = T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Cada elemento radiactivo tiene un periodo de semidesintegración distinto que depende de la constante radiactiva según la relación anterior.

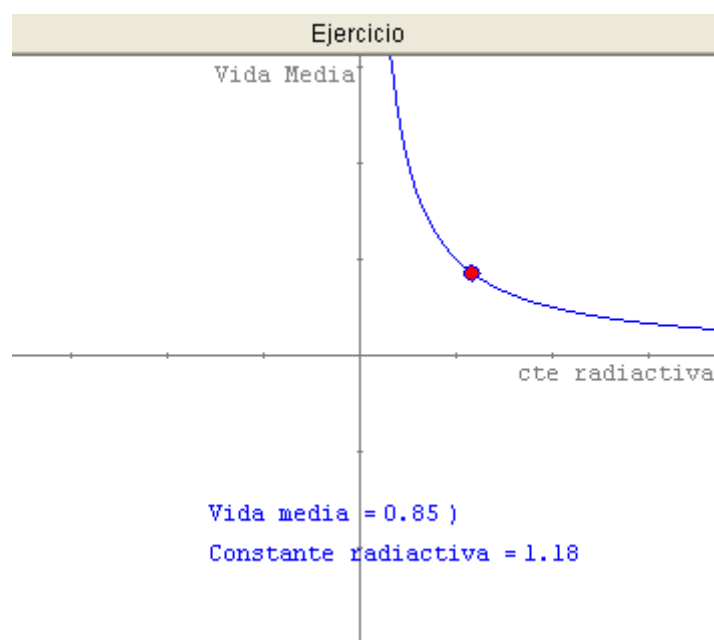
Magnitudes: Vida media

La vida media representa el promedio de vida de un núcleo atómico de una muestra radiactiva.

Es el tiempo, calculado estadísticamente, que un núcleo radiactivo de una muestra puede permanecer sin transformarse en otro.

$$\Theta_{\text{media}} = \frac{1}{\lambda}$$

Gráfica



Ejercicio: Pulsa sobre el punto rojo y desplázalo.

Observa que el valor de Vida Media de un átomo de un isótopo radiactivo tiene un valor inverso al de la constante radiactiva.

Cada isótopo radiactivo tiene una constante radiactiva a la que corresponde una Vida Media propia de ese isótopo. El uranio tiene la suya lo mismo que el radio etc., pero como el radio puede transformarse en otros elementos de dos maneras diferentes-por dos caminos-, cada una de ellas tiene su propia constante radiactiva.

La vida media es inversamente proporcional a la constante radiactiva y es una característica invariable para una determinada desintegración de cada tipo de núcleo radiactivo.

Los años que "puede vivir" un individuo de un grupo (región, país, etc) es la vida media de ese colectivo.

Si sumamos las edades de las persona fallecidas en un año (o en otro periodo) y la dividimos entre el número total de individuos hemos hallado la media aritmética de sus vidas.

Podemos hacer lo mismo para calcular cuanto puede durar un átomo cualquiera de una población de átomos que experimenta un tipo de desintegración.

Cálculos matemáticos de la vida media

$$Q_{\text{media}} = \frac{1}{\lambda}$$

Si sumamos los años vividos por las personas fallecidas en un determinado año y dividimos por el número de fallecidos tenemos la vida media de esa población:

$$Q_{\text{media}} = 70 + 75 + 82 + 23 + 12 + 56 + 72 + 74 + \dots / n^{\circ} \text{ total}$$

Si la muestra es amplia, los años vividos por varias personas coinciden, por lo que, en lugar de repetirlos en la suma, se multiplica cada edad repetida por el número de personas que la vivieron

$$Q_{\text{media}} = n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2 + n_3 \cdot t_3 + \dots / N$$

$$\text{Siendo } N = n_1 + n_2 + n_3 + \dots$$

Unos calculos matemáticos más precisos nos conducen a las expresiones siguientes:

$$\Theta_{\text{media}} = \frac{1}{N} \int t dN$$

La integral representa la suma de los infinitos términos de la muestra cada uno multiplicado por su tiempo de existencia antes de transmutarse..

$$\Theta_{\text{media}} = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t (-\lambda N dt)$$

Hemos sustituido dN por su valor hallado derivando a partir de la expresión:

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

La integral de la expresión conduce a:

$$\Theta_{\text{media}} = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t (-\lambda N_0 e^{-\lambda t} dt) = \frac{1}{\lambda}$$

Series radiactivas: naturales

Son las del Torio- $4n-$, Actinio- $4n+3-$ y Uranio- $4n+2$ (mostrada aquí).

Todas acaban en un isótopo estable del Plomo

Observa que...	Actividad	Series naturales
	-238 A	U 238 alfa
	-234	Th 234
	82	90 92 Z
inicio	Serie Uranio- Radio- (niveles)	1

Observa que... al aumentar el número de niveles de desintegración aparecen distintos elementos como consecuencia de las distintas emisiones (alfa o beta).

Los formados se descomponen para dar otros.

Puedes ver el número atómico (Z) y el número másico (A) de cada uno. Debes recordar que cada etapa tiene una constante radiactiva diferente y diferentes periodos de semidesintegración.

Los números másicos de todos los elementos de esta serie del Uranio se ajustan a la fórmula $4n+2$ (comenzando por $n=59$ y siguiendo por: 58,57...; Así $4 \cdot 59 + 2 = 238$).

Actividad: Estudia el tercer nivel de emisión, escribe la ecuación de la desintegración y comprueba si se cumplen las leyes de la emisión beta en cuanto a Z y a A -Ley de Soddy-

Comprueba lo mismo en la emisión alfa del nivel cuatro.

Series naturales: Los aproximadamente 40 isótopos naturales se agrupan en tres series que terminan en un isótopo estable del plomo. Todas las transmutaciones ocurren por emisiones alfa y beta. Te mostramos aquí la del Uranio. Todos los isótopos formados tienen un número másico- A - dado por la fórmula $4n+2$. donde n es un número natural del 59 al 51. Compruébalo.

En la serie del Torio la fórmula para hallar el número másico A es $4n$ (n empieza por 58).

La serie del Actinio es $4n+3$ y la n - va de 57 a 51

Serie radiactiva artificial

El isótopo estable en el que acaba la serie es el Bismuto.

Observa que	Activ 1		Serie artificial			Peligro	
							Pu-241 $\xrightarrow{\beta^-}$ Am-241
					-A=241		
					-A=237		
		82	83				94
Serie radiactiva artificial -Niveles-							<input type="text" value="1"/>

Observa que: Los números másicos de los isótopos de la serie se pueden calcular por la fórmula $A=4n+1$. En la que n s un número natural que va del 60 al 52.

Actividad1: Escribe la ecuación de la primera etapa y mira si se cumplen las leyes de Soddy.

Usa las Z y la A que figuran en el gráfico.

Serie artificial: Los elementos radiactivos logrados por el hombre (que ya habían desaparecido de la Tierra) caen en la serie del Plutonio de números másicos- A -dados por la fórmula $4n+1$. El isótopo estable en el que acaba la serie es el Bismuto.

Peligro: El paso (nivel de la serie de desintegración) de mayor periodo de semidesintegración hace de cuello de botella y en él se acumulan muchos átomos aunque dan la misma actividad que en cualquier otro paso porque se constante es pequeña.

La actividad de toda la serie no cesa hasta que no se convierte todo en Bismuto.

La actividad del conjunto es la actividad de un paso (de igual valor para cualquiera) por el número de pasos de la serie.

Equilibrio radiactivo

Las actividades de los isótopos formados en cada paso de la serie radiactiva son iguales entre si después de un tiempo. La actividad total de la serie radiactiva es la actividad de un paso multiplicada por el número de pasos.

$$A_{\text{actividad equilibrio}} = \lambda_x N_x = \lambda_y N_y = \lambda_z N_z = \text{cte}$$

Cálculo matemático del equilibrio

La actividad depende del tipo de material (λ) y del número de átomos del isótopo radiactivo.

$$\text{Actividad} = \frac{dN}{dt} = \lambda N$$

Imaginemos que X es el primer elemento de la serie. Al principio sólo existen átomos de él.

Los átomos de X se transmutan en Y acompañándose de radiación. Los Y a su vez se transmutarán en Z.

Supongamos que $T_{1/2}$ de X es tres días (λ muy alta, se transforman muchos átomos por segundo) y que el periodo de Y es $T'_{1/2}$ muy grande (pasan a Z pocos átomos por segundo).

La actividad de X inicialmente es muy grande, pero decrece al disminuir el número de átomos. La actividad de Y aumenta a medida que se forman cada vez más átomos.

Cuando sólo quedan N_x átomos de X se alcanza el equilibrio radiactivo: el número de átomos de Y que se transmutan por segundo es igual al número de ellos que se forman (que son los que se transmutan de X). Las actividades de los dos son iguales.

Como Y se transmuta en Z y la cadena continúa y podemos aplicar el mismo razonamiento:

$$A_{\text{actividad equilibrio}} = \lambda_x N_x = \lambda_y N_y = \lambda_z N_z = \text{cte}$$

Para alcanzarse el estado de equilibrio tiene que transcurrir un tiempo desde que el primer elemento de la serie comenzó a desintegrarse.

El valor de la actividad de la muestra y la actividad de cada paso disminuyen con el tiempo.

Esta ley del equilibrio puede emplearse para hallar la cantidad de cualquier isótopo de la serie siempre que conozcamos su constante radiactiva y la cantidad de un otro elemento de la serie y su constante radiactiva (tres datos de los cuatro de una igualdad).

El símil de la cascada de agua a través de varios depósitos con orificios de distinto diámetro aclara las ideas anteriores.

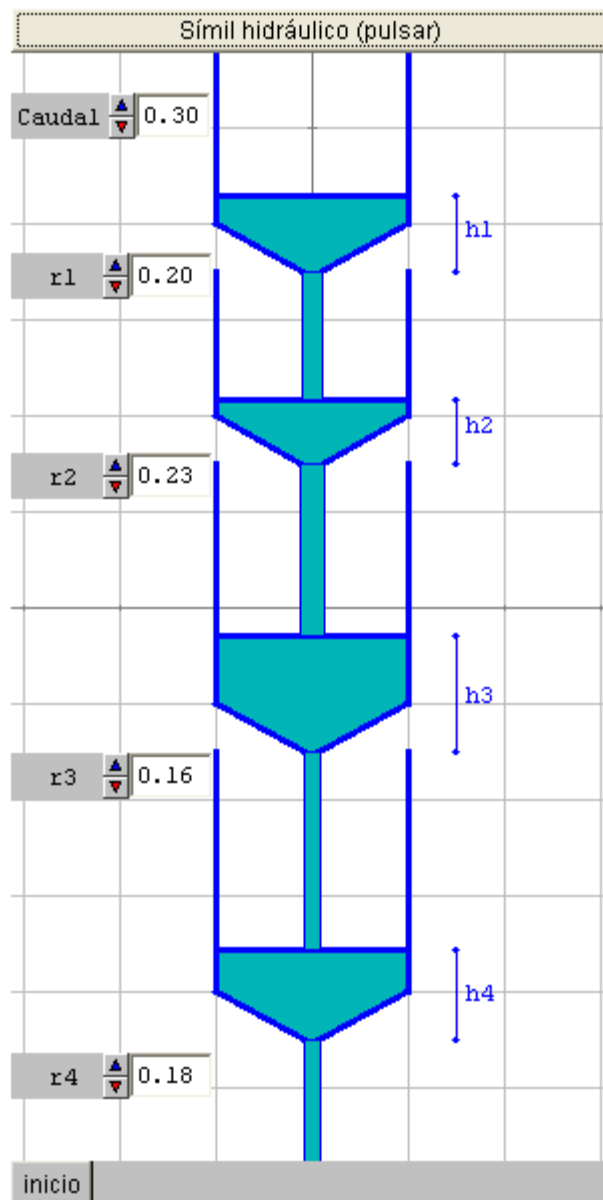
Cuando se alcanza el equilibrio la actividad de cada paso es la misma. El paso en que λ es grande (periodo de semidesintegración pequeño), el N es pequeño. Si λ es pequeño N será grande.

En el símil de la cascada de depósitos, cuando la abertura del orificio es grande, la altura que alcanza el agua en ese depósito es pequeña, y con un orificio pequeño, la altura será grande.

La actividad de los isótopos que se forman en todas las etapas de la serie suman sus efectos.

Las desintegraciones por segundo, una vez alcanzado el equilibrio, son iguales en cada paso y la actividad total es:

$$A_{\text{Total}} = A_{\text{actividad equilibrio}} \cdot N^{\circ} \text{ pasos}$$



La "cascada" de isótopos que se produce en las series radiactivas muestra que la actividad de toda la muestra queda condicionada no sólo por la radiación de un paso, sino por todos.

Se puede hacer un símil con depósitos de agua, con distinto orificio de salida y colocados en serie.

El equilibrio de flujo se produce cuando fluye el mismo caudal de cada depósito.

El caudal de agua que fluye equivale a la actividad de un paso.

El diámetro de sus orificios es el parámetro equivalente a la constante radiactiva.

La altura del agua en los depósitos equivale al número de átomos de cada isótopo de las etapas.

La actividad de cada paso de la serie es:

$$A_{\text{equilibrio}} = \lambda \cdot N$$

La actividad total es la actividad de un paso multiplicada por el número de pasos:

$$A_{\text{Total}} = A_{\text{actividad equilibrio}} \cdot N^{\circ} \text{ pasos}$$

Las leyes del equilibrio radiactivo permitieron diseñar un reloj para datar restos arqueológicos. Busca en la RED "**técnicas de datación**" o "Carbono 14"

Radiactividad artificial

Es un tipo de radiactividad que surge de un isótopo que producimos previamente en el laboratorio mediante una reacción nuclear. Este isótopo sigue todas las leyes radiactivas estudiadas para la radiactividad natural.

En 1919, Rutherford, al bombardear nitrógeno con partículas α procedentes de una sustancia radiactiva, provocó la primera reacción nuclear conducente a la producción "artificial" de un isótopo del oxígeno. El N se transmutaba en O y emitía un protón.

1ª reacción producida por el hombre

Reacciones nucleares

Tienen dos miembros: en el izquierdo se ponen la partícula incidente y el núcleo que se va a transmutar y en el derecho el núcleo formado y la partícula emitida .

En 1919, Rutherford utilizando partículas alfa transmutó el nitrógeno en oxígeno.

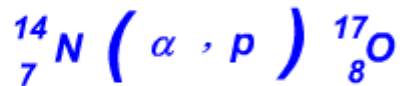
Lo expresamos así:



Ésta fue la primera transmutación artificial realizada por el hombre.



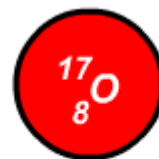
Esta reacción también se puede escribir así:



Las reacciones nucleares son procesos de choque en los que:

- * se conserva la **energía**
- * se conserva la **cantidad de movimiento**
- * se conserva el **momento angular**
- * se conserva el **número de nucleones**
- * se conserva la **carga**

α



p

En 1934, los esposos Irene Curie y Frédéric Joliot, estudiando la producción de neutrones al bombardear una lámina de aluminio con partículas **alfa**, descubrieron que se formaba un isótopo radiactivo del fósforo. Comprobaron que además de los neutrones aparecían **positrones** que no esperaban (ni cabía esperar) y que no cesaban de producirse al dejar de bombardear, tal como sucedía con los **neutrones**.

Producción de isótopos radiactivos

Radiactividad artificial

El proceso radiactivo desencadenado por el hombre se llama radiactividad artificial.

La radiactividad artificial sigue las mismas leyes de desintegración que la radiactividad natural.

Un átomo estable al ser bombardeado por una partícula con suficiente energía puede volverse inestable y convertirse en un isótopo radiactivo que emite partículas.



Un núcleo de helio (partícula alfa) golpea al aluminio y éste se transmuta en fósforo y emite un neutrón y positrones.

Cuando cesa el bombardeo de partículas alfa, dejan de aparecer protones, pero no dejan de emitir positrones.

¿Por qué?

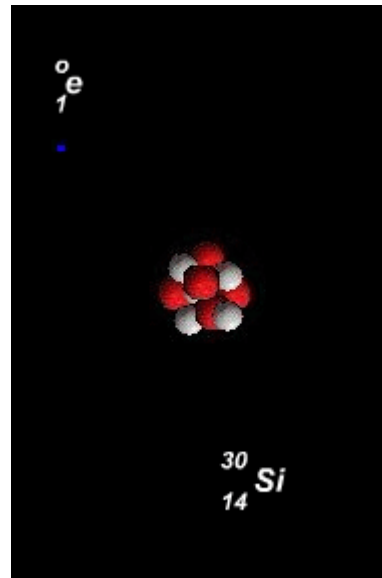
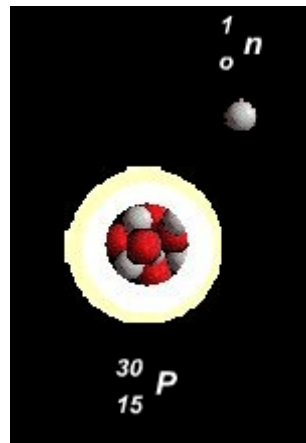
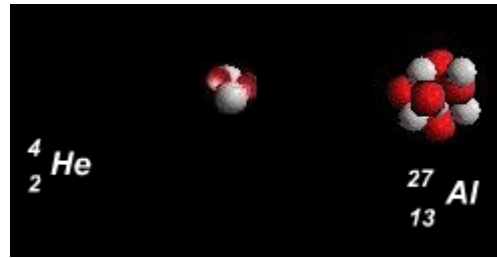


Si analizamos la actividad de la radiación, vemos que la emisión de positrones decae exponencialmente, tal como sucedía con las radiaciones de la radiactividad natural

Al bombardear aluminio se forma un isótopo radiactivo del fósforo que se transmuta en silicio al tiempo que emite un positrón.




La emisión de positrones es más abundante en los procesos de la radiactividad artificial; en la natural se emiten partículas alfa, beta y gamma.



El isótopo radiactivo que se forma (fósforo), sigue un proceso de desintegración radiactiva con emisión de positrones y formación de silicio estable

Cada átomo de aluminio transmutado da un átomo de fósforo que se transforma en silicio

${}^{30}_{14}\text{Si}$ 

Los proyectiles utilizados para la producción de isótopos son los neutrones ya que al no poseer carga eléctrica no experimentan fuerzas de repulsión electrostática por parte de los protones de los núcleos en los que penetran para desestabilizarlos.

La producción de **positrones** es más abundante en la radiactividad artificial ya que en la natural se producen espontáneamente partículas alfa y beta y radiación gamma.

Los isótopos radiactivos artificiales tienen periodos de semidesintegración pequeños. Seguramente se formaron al mismo tiempo que los otros componentes de Tierra, pero han desaparecido. Actualmente sólo quedan

radioisótopos de periodo grande.

En Medicina se manejan diferentes tipos de isótopos que son administrados a los pacientes. Se usan isótopos radiactivos en investigación, para el tratamiento de tumores malignos o como trazadores para visualizar órganos, dando lugar a la **Medicina Nuclear**

Isótopos en la Medicina

- Se usan en
 - investigación médica (marcando hormonas o sustancias que se asimilan en distintas zonas del cuerpo para seguir su distribución, evolución y eliminación por el organismo),
 - para detectar tumores (usando sus radiaciones como trazadores en las técnicas del [PET](#) y [GAMMAGRAFIA](#)).
 - radiar células cancerosas para destruirlas,
 - en técnicas analíticas para determinar pequeñas cantidades de sustancia en algunos análisis.
- Se utilizan en
 - estado sólido(en forma de agujas que se introducen en el tumor y radian una zona puntual),
 - estado líquido (como disolución inyectables),
 - estado gaseoso (como el helio mezclado con aire),
- Se obtienen bombardeando los átomos con partículas aceleradas para hacerlos radiactivos.
- Las partículas emitidas (radiaciones) dejan un rastro y de esta manera los isótopos se usan como trazadores.
- Se fabrican en laboratorios internacionales y centros médicos especiales y se distribuyen a los hospitales. Debido a su corta vida media (necesaria para que sus efecto colaterales no sean muy pronunciados) todos los pacientes se citen para ser tratados el día siguiente de la llegada de los isótopos al hospital.

Isótopos usados en Medicina Nuclear:

^{60}Co , ^{32}P , ^{125}I , ^{131}I , ^{201}Tl , ^{99}Tc , ^{89}Sr , Fluoro-desoxi-glucosa-F18 (conjunto de

isótopos) y otros.

[Ver](#) radioisótopos en medicina

¿Se requieren isótopos para un TAC? . No, pero averigua en que consiste el TAC mirando en la RED.

PET

(tomografía de emisión de positrones)

[Sociedad Española de Medicina Nuclear](#) (**ver la página de la evolución del PET en España**)

En España algunos centros hospitalarios albergan en edificios próximos un **ciclotrón (acelerador de partículas)**, cuya función es producir radiofármacos emisores de positrones, y laboratorios de síntesis de medicamentos con moléculas marcadas que controlan su calidad y los distribuyen para su aplicación clínica y para labores de investigación.

Mediante el bombardeo de átomos no radiactivos con el ciclotrón se obtienen radiofármacos (sustancias con isótopos radiactivos). Estos radiofármacos se administran a los pacientes y una vez absorbidos por los tejidos **emiten positrones** que se usan como trazadores para detectar el lugar de los tumores (incluso muy pequeños) que los emiten. Las imágenes se ven en una pantalla.

Los isótopos radiactivos usados como trazadores son ^{11}C -, ^{15}O -, ^{13}N -, ^{19}F . Son los constituyentes del radiofármaco Fluoro-desoxi-glucosa-F18 que se sintetiza en el lugar en que se encuentra el ciclotrón y se distribuye a los hospitales que no disponen de ciclotrón pero que si tienen tomocámaras. En éstas se explora al paciente que recibió el fármaco radiado para detectar la emisión de **positrones** y en ellos se realizan los PET (tomografía de emisión de positrones).

Los radiofármacos tienen una vida media muy corta, horas o días, lo que hace de vital importancia contar con un centro productor cerca del hospital. Deben llegar de forma rápida y óptima a todos los hospitales de la zona que tengan cámaras PET.

GAMMAGRAFÍAS

[Ver gammagrafías](#) para ampliar el tema

Un compuesto radiactivo que se absorba en una glándula y emita radiación gamma permite estudiar esa glándula obteniendo una placa, como la fotográfica. Esta placa se llama **gammagrafía**.

Un ordenador puede convertir las informaciones analógicas que transportan la radiación gamma en digitales.



Es un emisor de rayos gamma. Se se usa para destruir células cancerígenas. El haz de rayos gamma se dirige al centro del tumor para que no dañe los tejidos sanos.



Este isótopo se usa para tratar el cáncer de tiroides. El paciente ingiere el yodo y la glándula tiroidea lo absorbe y emite radiaciones beta y gamma con un periodo de semidesintegración de 8 días.



Es un emisor de rayos gamma y tiene un periodo de semidesintegración de 6 horas. Ha sustituido al yodo en el tratamiento del tiroides

El tecnecio y el estroncio, se concentra en los huesos, de ahí que se usen en radiodiagnósticos de huesos.

Inicialmente los primeros investigadores que estudiaron la radiactividad midieron solamente la actividad de la muestra. Las unidades definidas fueron el Curie y Rutherford.

Inicialmente los primeros investigadores que estudiaron la radiactividad midieron solamente la actividad de la muestra. Las unidades definidas fueron el Curie y Rutherford.

Unidades de actividad

La actividad de una muestra o porción de materia se expresa en desintegraciones por segundo.

Se definen el **Curie** y el **Rutherford** como:

1 **Curie** es la actividad que corresponde a 1 gramo de radio y produce $3,7 \cdot 10^{10}$ desintegraciones / segundo.

1 **Rutherford** corresponde a un millón de desintegraciones / segundo.

Pero es importante conocer no sólo el número de partículas emitidas sino también la energía total que tienen y la energía cedida en un recorrido a través de la materia.

Una unidad de este tipo se puede aplicar a la medida de todas las radiaciones: radiación cósmica, partículas procedentes del espacio, ultravioleta, rayos X, rayos gamma, radiación natural de la Tierra, etc. Debes saber que las dos terceras partes de la dosis de radiación ionizante recibida por un hombre europeo corresponde a la radiactividad de origen natural (del espacio y del Sol) y una cuarta parte a las irradiaciones por servicios médicos (rayos X).

Unidades de exposición

Roentgen

El Roentgen se definió midiendo la ionización del aire atravesado por una radiación.

Una radiación es de **1 Roentgen** cuando el aire expuesto a ella se ioniza con un carga eléctrica total de $2,58 \cdot 10^{-4}$ coulombios por kg de aire (medido en condiciones normales).

Como la medida de los valores de exposición sólo puede hacerse en gases y se deseaba tener una manera de medir los efectos biológicos y físicos de la radiación sobre la materia viva, se definió la dosis absorbida.

Dosis absorbida

rad y gray

Para matizar lo importante que era medir además de la energía absorbida el número de ionizaciones que produce a su paso la radiación, se introdujo otra unidad, el rad

Las partículas más pesadas, a igual energía portadora que una ligera, ionizan mucho más.

Se definen el **rad** y el **gray** como:

1 rad (radiation absorbed dose) equivalen a 10^{-5} J absorbidos por cada gramo de materia expuesta.

En el S.I la dosis de radiación absorbida es el **gray** = J/kg.

Su equivalencia es **1 gray = 100 rad**.

Para matizar la "calidad" de la radiación absorbida, la unidad definida a partir de la energía se multiplica por una constante "q". Los valores de "q" son: q =1 para las gamma y beta; q =3 para neutrones térmicos; q =10 para las alfa y neutrones pesados; q =20 para iones pesados; etc. Por lo tanto la radiación

absorbida (dosis absorbida) multiplicada por el factor q dará una dosis equivalente en cualquier tipo de radiación.

Dosis equivalente de cualquier radiación

Rem y Sv

Partimos de las unidades de dosis absorbida (rad y gray) y las multiplicamos por un factor para hallar la equivalencia de energía absorbida de cualquier radiación.

Se define el rem como la radiación de 1 rad exclusivamente de radiación gamma; o la radiación de 0,1 rem de radiación alfa.

$$\text{rem} = \text{rad} \cdot q$$

En el S.I se define el Sievert (sv) = 100 rem (gamma)

$$\text{Sievert (sv)} = 1 \text{ gray de radiación gamma.}$$

$$\text{Sievert (sv)} = 1 \text{ gray} \cdot q$$

Los valores de “q” son:

q = 1	para las gamma y beta
q = 3	para neutrones térmicos
q = 10	para las alfa y los neutrones pesados
q = 20	para iones pesados, etc

La dosis absorbida puede referirse a todo el cuerpo o a un órgano en concreto; se pueden referir a una dosis puntual o expresar la suma de las dosis acumuladas en un periodo de tiempo.

La dosis de radiación ionizante en Francia (país con numerosas centrales nucleares) es de 3,5 miliSievert año por habitante (2,4 mSv de la natural y 1,1 mSv de la artificial).

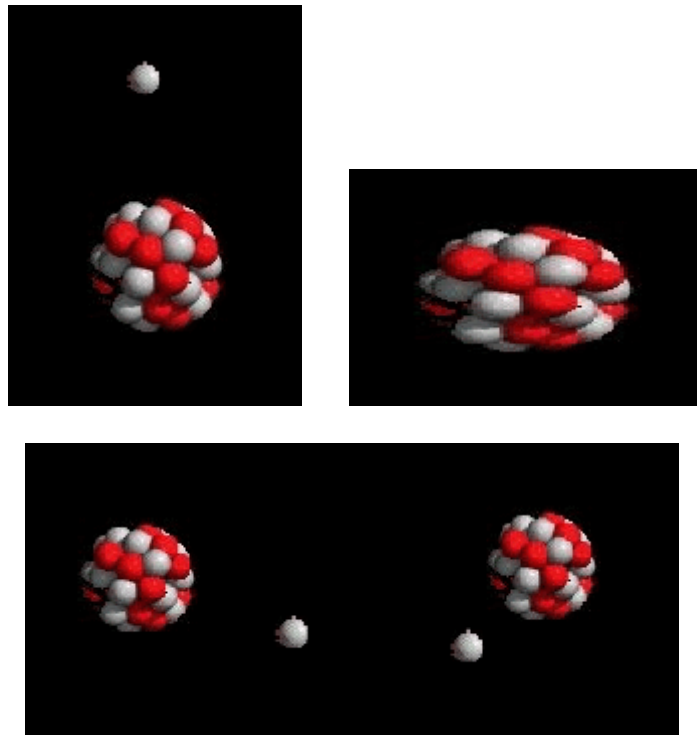
Una exposición prolongada de todo el cuerpo a 5 Gray es mortal para el 50% de las personas.

En radioterapia se realizan sesiones de 2 a 3 Gray cuatro días a la semana sobre una parte del organismo.

Energía Nuclear: Proceso de Fisión

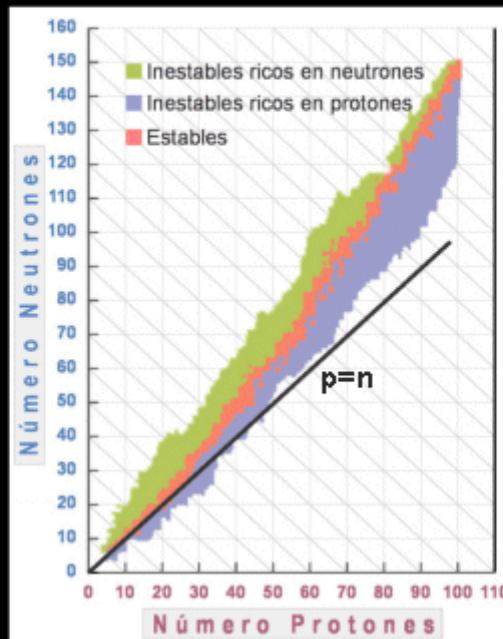
En la fisión, el núcleo estable, al ser bombardeado por partículas, se rompe en dos núcleos desiguales más ligeros. En el proceso se libera energía (proceso exotérmico) y se produce la emisión de varias partículas.

Fisión nuclear



Los núcleos formados incorporaron los protones de la partícula alfa y expulsaron neutrones, pasando a tener una relación de protones a neutrones que los hace más estables como vemos en la gráfica de estabilidad.

Átomo inicial
Z > 82



Átomos finales
Z de 40 a 60

Los neutrones son buenos proyectiles ya que al no tener carga son menos rechazados por parte del núcleo. Los neutrones emitidos en la fisión son neutrones rápidos y con energías altas del orden de 1 Mev. Pueden pasar a ser neutrones lentos o térmicos, con energías del orden de 1 ev, si pierden parte de su energía por choques con partículas de un moderador.

La energía de un neutrón lento es suficiente para fisiónar el U-235 en dos partes desiguales.

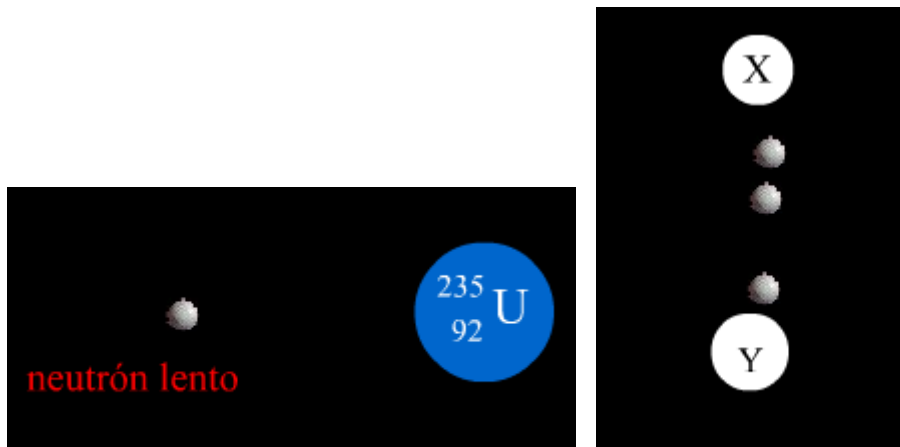
Los núcleos masivos al romperse producen dos nuevos elementos.

Estos núcleos suelen tener números másicos entre los valores 50 y 82.

El proceso se puede escribir en dos etapas:

Captura del neutrón	${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{92}^{236}\text{U}$
Proceso de fisión	${}_{92}^{236}\text{U} \rightarrow X + Y + 2 \text{ ó } 3 \text{ neutrones}$

Fisión de Uranio 235



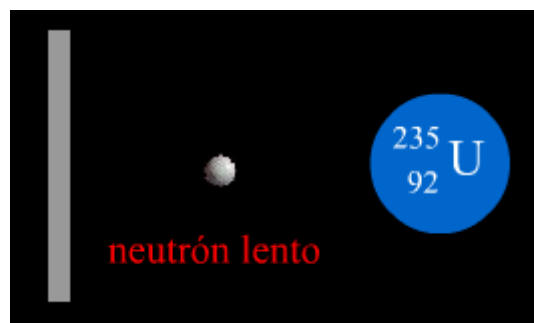
Resultado de la fisión:

- * dos núcleos de nuevos elementos
- * 2 ó 3 neutrones rápidos
- * gran cantidad de energía

Barrera de moderadores:
grafito, agua pesada...

El neutrón pierde energía por los choques con las partículas del moderador

Diagram illustrating the moderation process. A fast neutron (neutrón rápido) is shown interacting with a moderator barrier (represented by a vertical grey bar). The neutron loses energy through collisions with the moderator particles.





La reacción se encadena y el proceso se repite e incluso se multiplica si $n > 1$ y los neutrones producidos vuelven a impactar cada uno con diferentes átomos de uranio 235.

Este proceso es de gran utilidad porque:

- 1.- Se libera mucha energía
- 2.- El proceso se automantiene. La liberación de neutrones, dos o tres por cada núcleo fisionado (unos 2,5 de media), hace que estos puedan provocar nuevas fisiones al chocar con otros núcleos originándose así una reacción en cadena.

Proceso de Fisión: nº de neutrones, masa crítica y energía

Para que una reacción se mantenga es muy importante que por lo menos uno de los neutrones producidos impacte con otro núcleo fértil (fisionable) y lo fisione.

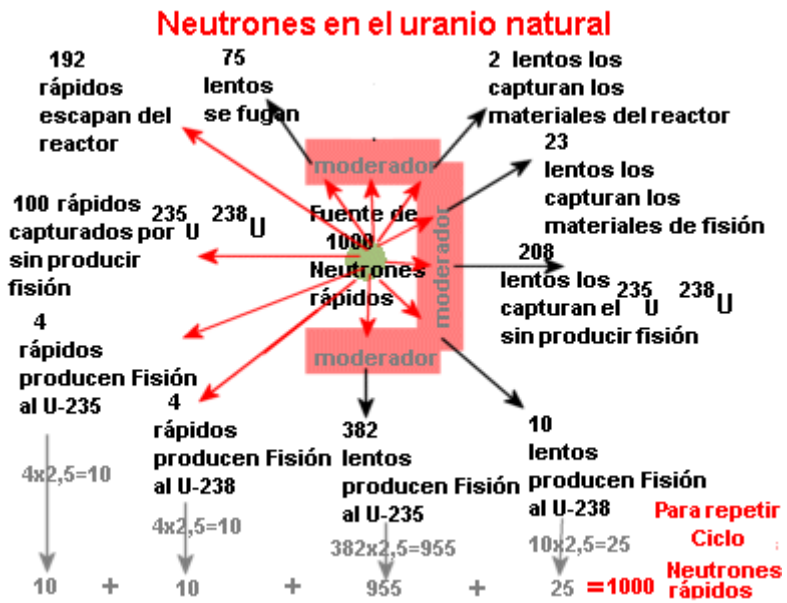
En la reacción se "quema" combustible nuclear.

Destino de los neutrones.

Los neutrones rápidos producidos en una fisión siguen diferentes caminos. En el gráfico puedes ver el destino probable que asigna la estadística a una población inicial de 1000 neutrones rápidos en un reactor que contenga U natural sin impurezas y un moderador.

El U natural contiene dos isótopos ${}^{235}\text{U}$, ${}^{238}\text{U}$

Observa el gráfico y lee el texto que figura más abajo.



Debido a los repetidos choques con el moderador algunos neutrones rápidos se vuelven lentos (térmicos) pero no todos producen fisión (ver gráfico).

En los procesos de fisión se producen una media 2,5 neutrones rápidos por cada núcleo fisionado.

Producen fisiones tanto los neutrones rápidos como los lentos, pero un 38,2% de los neutrones lentos produce fisión en el ^{235}U y ésta es la fisión más significativa.

Haz un gráfico que incluya los porcentajes más significativos. ¿Qué porcentaje de neutrones lentos son absorbidos por los dos isótopos de U sin producir fisión? ¿Será el 20,8%?

La constante de reproducción de este proceso es 1: se producen al final 1000 neutrones rápidos como consecuencia de todas las reacciones, partiendo de 1000 neutrones rápidos iniciales, por lo tanto la reacción se automantiene.

Factor de reproducción

El factor de reproducción para un reactor, k , es el cociente entre el número de neutrones que se crean por segundo en el reactor y los que desaparecen en los diferentes procesos (fisión, absorción, fugas, etc.).

Si $k = 1$ la reacción se automantiene, decrece si $k < 1$ y se dispara si $k \gg 1$ (explosión nuclear-bomba atómica-).

Sección eficaz geométrica

Que un neutrón choque con un núcleo depende de la superficie del núcleo que obstruye su trayectoria ya que en el núcleo está concentrada prácticamente toda la materia. El núcleo se considera un conglomerado de esferas iguales (nucleones). El radio de todo el núcleo depende de A (número de nucleones). Se ha calculado su valor como: $R = 1,2 \cdot 10^{-15} (A)^{1/3}$. La sección eficaz de choque de todo el núcleo será: $3,14 \cdot R^2$.

Todos los núcleos atómicos se agrupan formando el combustible (la materia) que es la fuente y el blanco que deben atravesar los neutrones.

Existe una **probabilidad de impacto** que depende no sólo de la sección eficaz geométrica de los núcleos, sino también de la velocidad del neutrón que los atraviesa y de lo concentrados que estén los núcleos. Por todo esto se define una **sección eficaz macroscópica** (Σ).

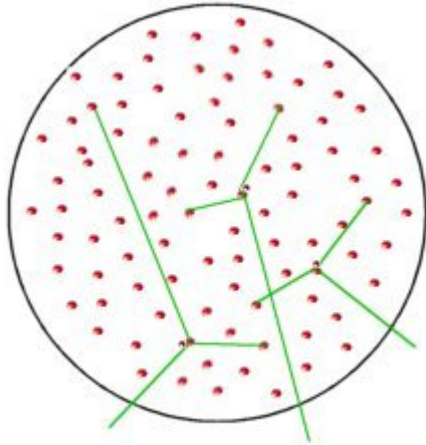
Los tipos de impactos de los neutrones no siempre son procesos de fisión, pueden ser dispersiones (cambios de dirección por choque) y absorciones (capturas sin fisión).

Los neutrones rápidos pierden mucha energía en cada impacto, pero a medida que decrece su velocidad la sección eficaz del núcleo con el que impactan y la fisión que producen se vuelve más probable.

La distancia que recorre un neutrón entre dos eventos nucleares se llama **recorrido libre medio** y es la inversa de la sección eficaz microscópica.

Masa crítica

La masa necesaria para que la reacción prosiga aceleradamente se le llama masa crítica.



En el gráfico se puede ver como en una masa de ^{235}U puro, tres núcleos de ^{235}U , se fisionan (se dividen en dos) y emiten tres neutrones (líneas verdes). Algunos escapan y otros impactan en un nuevo núcleo al que fisionarán. En esa masa sólo hay átomos de ^{235}U puro, ni moderadores, ni impureza, ni ^{238}U .

Para que la reacción en una masa de ^{235}U puro sea explosiva, se requiere que el tiempo entre dos eventos (fisiones) sea muy pequeño y que escapen muy pocos neutrones.

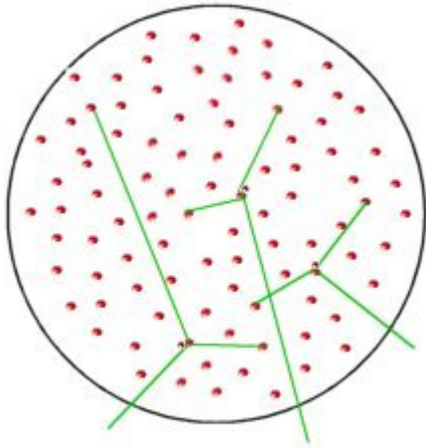
Para los neutrones de cada material combustible (U, Pu, etc) se establece un recorrido medio libre de impactos de unos pocos centímetros (el que los neutrones recorren sin producir fisión) y su correspondiente tiempo medio sin impactos (unas diez millonésimas de segundo).

La muestra radiactiva debe tener un tamaño mínimo para que los neutrones no escapen sin impactar y la reacción se dispare.

Suponiendo que la masa de U tiene forma esférica, existirá un diámetro mínimo para que el neutrón choque antes de escapar para producir nuevas fisiones. A ese diámetro mínimo le corresponde un tamaño crítico de una masa que llamamos **masa crítica**.

En una esfera de ^{235}U puro con una distribución de átomos que corresponde a su densidad si se produce una fisión y salen tres neutrones, estos pueden salir de la esfera sin impactar o impactar en otros átomos. En el dibujo se ve que tres núcleos fueron alcanzados por neutrones y de la fisión salieron tres neutrones (líneas verdes) de cada uno, 9 en total, escapando sin impactar 7 (trayectorias verdes salientes). Esta reacción decae porque sólo impactaron dos neutrones.





En una esfera de ^{235}U de mayor masa que la esfera del ejemplo anterior, pero con la misma densidad (reparto de átomos, manteniendo la misma distancia), tres átomos fisionados sueltan cada uno tres neutrones, 9 en total, de los cuales solo escapan sin impactar tres (trayectorias verdes).

Esta reacción se dispara: los tres átomos iniciales originan seis nuevas fisiones.

Para que la reacción se mantenga existe por lo tanto una masa crítica entre las dos mostradas en las esferas.

Para que la reacción se dispare la masa de ^{235}U debe ser superior a la masa crítica -supercrítica-.

Para la primera bomba atómica explotada en Hiroshima se necesitaron solamente unas pocas docenas de kilos de U.

En los reactores nucleares, centrales nucleares o pila atómicas, para que la reacción no se dispare, se frena y se controla con moderadores y barras absorbentes el número de neutrones que pueden iniciar nuevas reacciones. Además en ellas no hay U puro, hay impurezas etc.

Recuerda que con una emisión de 3 neutrones, si todos fisionaran, se podrían iniciar tres reacciones paralelas empezando un aumento de reacciones en progresión geométrica.

La energía final de todos los núcleos y partículas menos la inicial constituye el balance energético de una reacción. Esto se puede aplicar a la fisión ([ver problema 7](#)).



La energía por nucleón de los núcleos masivos es del orden de los 7,5 MeV por nucleón; la de los núcleos ligeros que se forman es de unos 8,4 MeV.

Conociendo estos valores podemos hallar el balance energético de un proceso de fisión.

Energía de fisión del ^{235}U

En el proceso de fisión de ^{235}U se liberan unos 0,9 MeV por nucleón del proceso.

Esto supone una liberación de $235 \cdot 0,9$ MeV (unos 200 MeV) por átomo de U.

Esta energía está en forma de energía cinética de los átomos y neutrones emitidos y en las desintegraciones, simultáneas y subsiguientes, de partículas alfa, beta y radiación gamma.

En una pila nuclear (reacción controlada) los neutrinos escapan y se llevan parte de la radiación pero aún así se obtienen unos 190 MeV por átomo de U ($190 \text{ MeV} = 3,04 \cdot 10^{-11} \text{ J}$) en la cuba en que se mantiene la reacción .

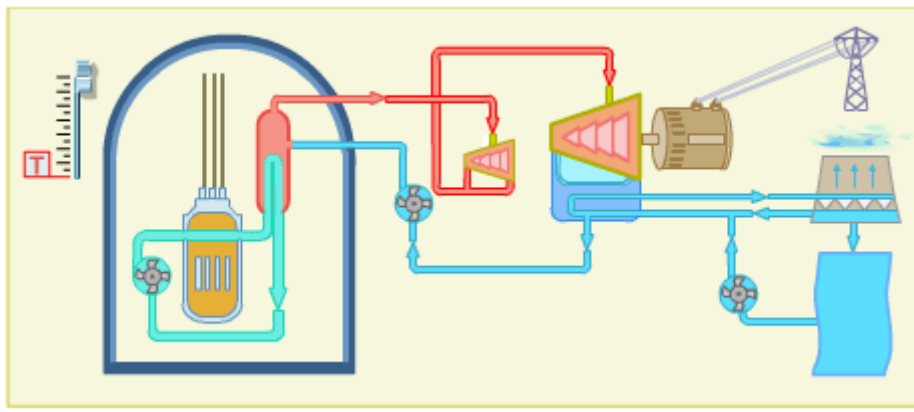
Un mol de ^{235}U (aprox 235 g) contiene $6,023 \cdot 10^{23}$ átomos.

La fisión de un mol producirá

$$1,83 \cdot 10^{13} \text{ julios} = 1,83 \cdot 10^{10} \text{ kJ/mol} = 4,3 \cdot 10^9 \text{ Kcalorías /mol}$$

Compara esta cantidad con las 2878 kJ / mol obtenido es la combustión de 1 mol del butano (60 g).

Mueve la barra deslizable que introduce las varillas de cadmio hasta para la reacción. Pasa el puntero sobre los distintos componentes de ésta **central nuclear**. Observa que el vapor se descarga primero contra un primer cuerpo de la turbina y después, ya a baja presión, contra el segundo cuerpo. Los dos cuerpos están en serie y mueven el alternador.



Fermi: reactor automantenido

Investigación básica: Fermi



En la Universidad de Chicago, en 1942

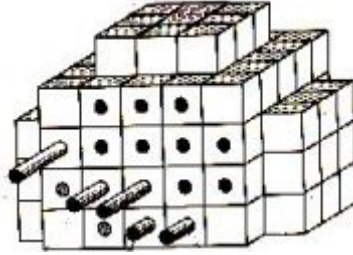


El italiano Fermi, dirigió el equipo que demostró que un reactor nuclear podía construirse y tener un funcionamiento auto-mantenido y controlado. Los científicos fabricaron con sus propias manos **bloques de grafito (el mismo que el de la mina de un lápiz)** para construir una pila de bloques de forma esferoidal del tamaño de un aula. En estas fotos se ve a los científicos perforando los bloques de grafito, serrándolos y apilándolos. En la última se ve a la derecha al propio Fermi controlando el proceso.



El grafito se utilizaba para disminuir la velocidad de los neutrones en los choques y para retenerlos al sufrir múltiples rebotes en él. Con energías de 0,12 eV (neutrones térmicos) y una velocidad media como la de las partículas de un gas en c.n., al chocar con algún átomo de U eran capaces de fisionarlo y mantener la reacción.

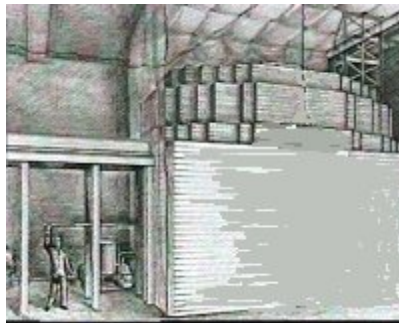
En el interior de los bloques de grafito colocaron **tacos de U metálico puro** (U que contiene la proporción de sus isótopos naturales, pero sin impurezas) en una cantidad de unas seis toneladas. El U quedó distribuido de forma regular en la "pila" de grafito (apilamiento). Por motivos de seguridad perforaron en la pila unos canales en los que introdujeron seis **barras de madera forrada de cadmio** ya que el cadmio absorbe muy bien los neutrones y así impedían que se desencadenara una reacción en cadena. Introdujeron también una sonda para detectar la radiación.



La reacción se iniciaba por la acción de un neutrón del ambiente procedente de los rayos cósmicos que fisionaba el U-235 o por fisión espontánea de este. Los neutrones producidos chocaban con el grafito, perdían energía y podían:

- fisionar un nuevo núcleo de U.
- escapar de la pila.
- transmutar el U-238 (que acompaña al U-235) en Pu- 239.
- quedar absorbidos por los átomos productos de la fisión, por el propio U, el Pu o por los materiales del montaje.

Mientras desde una tribuna colocada en lo alto el grupo de científicos observaba, otro aumentaba las capas de grafito que formaban la pila. Al construir la capa 12 la intensidad de neutrones producidos fue tan alta que al retirar una de las barras de Cd la reacción se mantuvo con una potencia de 0,5 w elevándose hasta 200 W.



Midiendo la corriente eléctrica con un galvanómetro, Fermi y su grupo comprobaron que la velocidad de la reacción variaba al meter otra vez la barra de Cd dentro del "reactor" de grafito. La corriente que medían era la que se originaba al ionizarse más o menos un gas de la sonda de control.

La mañana del 2 de diciembre de 1942 probaron que controlaban la reacción introduciendo y retirando las barras de Cd dentro del "reactor" de grafito. En plena Segunda Guerra Mundial (los alemanes acababan de invadir Rusia) en Alemania, en Leipzig (1941) y en Berlín (1943), trataron de producir energía con una pila de U usando agua pesada como moderador de la velocidad de los neutrones. Quizás no lo lograron por el esfuerzo de la guerra y los bombardeos aliados. En la primavera de 1943 se desmontó el laboratorio de Fermi y se construyó otro cerca de Chicago. Éste sería el origen de ARGONNE.



La nueva pila contenía 17.700 varillas de U encerradas en Al de un peso de 52 toneladas, medidas en grafito y con una carcasa de grafito, madera, plomo y hormigón. El tamaño del reactor era de unos $10 \times 10 \times 6 \text{ m}^3$. Su potencia era de 2 kw y consumía 2mg de uranio/ día, produciendo 2 mg de Pu-239 (utilizado para bombas atómicas).



En septiembre de 1944 empezaron a funcionar tres plantas nucleares de una potencia de 1 millón de kw, capaces de producir 1 kg de Pu/ día. Se construyeron en Hanford (zona desértica del estado de Washington) y eran refrigeradas por el río Columbia que se calentaba por la gran cantidad de energía producida. Este Pu se usó para la producción de bombas atómicas.

La bomba atómica.

A principio de 1943, bajo la dirección de J.R. Oppenheimer de la Universidad de California, empezó a prepararse en Los Álamos (Nuevo Méjico) una bomba atómica a base de **U puro y enriquecido en su isótopo 235**. Colocado de manera conveniente y en la cantidad necesaria los neutrones rápidos son capaces de chocar con un átomo de U antes de escapar de la masa de U, desencadenar una reacción en cadena y generar cantidades ingentes de energía.

La bomba fue lanzada sobre Japón el 6 de agosto de 1945. La explosión de prueba se había efectuado tres semanas antes en el desierto de Nuevo Méjico a unos 50 km al sur de Santa Fe.



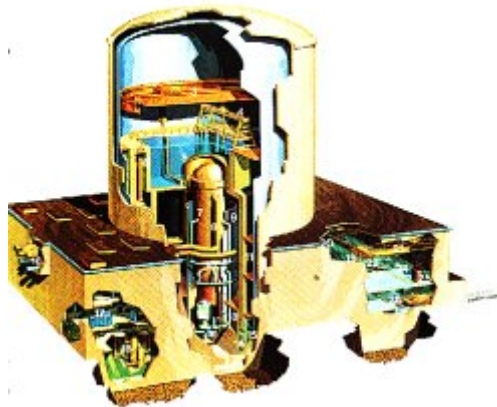
Las siguientes bombas se fabricaron con U y con el Pu obtenido en los reactores de prueba o de las centrales nucleares.

El uranio usado en las bombas debe estar mucho más enriquecido en U- 235 que el usado en los reactores nucleares.

Los países que dispongan de centrales nucleares pueden obtener Pu y fabricar bombas atómicas

Reactor nuclear.

Es el corazón de la central nuclear. El lugar donde se produce la fisión y se libera la energía.



Este es el edificio que alberga al reactor (7) de la Central de Cofrentes.

El tipo de reactor más conocido es el reactor térmico (la fisión se produce por neutrones lentos). El combustible es U natural (U-235 en la proporción en que se encuentra en la naturaleza) o enriquecido en el componente 235. La sustancia fisionable está dispuesta en barras distribuidas regularmente en el moderador. Como moderador se emplea grafito (rebaja la velocidad de los neutrones rápidos que salen) y como refrigerante agua a presión. Para absorber los neutrones y frenar o detener la reacción, se emplean barras de Cd.

El agua de refrigeración del reactor está sometida a presión de 150 at y alcanza temperaturas superiores a 300°C. Se hace circular a través de un cambiador de calor donde cede calor al agua de otro circuito secundario que se calienta, y se expande a través de una turbina que al girar mueve un generador de energía eléctrica. Esta es la energía que se extrae de la central nuclear.

Tipos de reactores.

Se puede hacer la división atendiendo a diferentes criterios.

Según el tipo de neutrones usados en la fisión se dividen en:

1.- **Reactor térmico**. Como el 1º construido. Funciona con neutrones lentos

(térmicos) y usa como combustible el U natural (con la proporción de isótopos que se encuentran en la naturaleza, pero sin impurezas). El combustible se coloca en varillas distribuidas entre el moderador y las barras controladoras (forman un sistema heterogéneo).

2.- **Reactor rápido.** Funciona con neutrones rápidos o de mucha energía. El combustible debe ser U enriquecido en su componente 235 o incluso U- 235 puro. Si el combustible se halla en suspensión o en disolución en el moderador forma un sistema homogéneo (reactores homogéneos).

Según el tipo de refrigerante

1.- Refrigerados por agua (que en algunos casos puede actuar de moderador-agua pesada-).

2.- Refrigerados por gas (aire -así era se refrigeraba la pila fe Fermi-, dióxido de carbono, etc).

3.- Refrigerados por un metal líquido (sodio, etc)

Tipos de reactores refrigerados por agua

El fluido que retira la energía calorífica que se produce en el reactor es agua.

1.-En el **tipo BWR** (Boling water reactor) existe un sólo circuito, el agua se vaporiza en el reactor y el vapor producido se expande contra la turbina a la que pone en movimiento. El agua enfriada en las torres de refrigeración se hace retornar al reactor por medio de bombas.

El vapor de agua de este tipo de reactores es siempre radiactivo, porque el agua contiene gases radiactivos debido a las radiaciones del reactor. Los principales son el ^{13}N , ^{16}N , ^{17}N , ^{18}O , ^{19}O . El más activo de todos es el ^{17}N . Una central de este tipo es la de Cofrentes (Valencia, España).

2.- El reactor de **tipo PWR** (Presión water reactor) o RAP como la del esquema de la página existen dos circuitos de agua independientes.

El agua del circuito primario, que es la que está en contacto con la radiación, retira el calor del reactor. El agua en él se mantiene a gran presión para que no hierva y está circulando continuamente en ese circuito impulsada por bombas . El circuito primario cede calor, en un intercambiador de calor, al secundario. En el secundario se forma el vapor que al expandirse contra la turbina produce el movimiento. El agua de este circuito se enfría en las torres de evaporación y se hace recircular con bombas por el circuito secundario para volver a expandirse contra la turbina.

El agua del circuito secundario está aislada del circuito primario y no se contamina.

Los efluentes que vuelven al río están descontaminados y enfriados para que no lo calienten..

En España son de este tipo las centrales de Almaraz1 y 2 y la de Trillo 1.

Central Nuclear Eléctrica

Una central nuclear eléctrica es un sistema de generación de electricidad que utiliza un reactor nuclear para obtener la energía.

La animación que figura en la página anterior corresponde a una central PWR. El reactor funciona tal como se relata en el apartado Reactor nuclear. **Puedes mover las barras de control (de Cd) para que absorban más o menos neutrones.** Si la absorción es muy grande no quedan neutrones libres para que continúe la reacción y el reactor se para.

El agua del circuito primario que está sometida a gran presión cede su calor al agua del circuito secundario que se convierte en vapor. Este vapor se expande a través de las turbinas y las hace girar. En la figura se aprovecha la caída de la temperatura del vapor en dos etapas y así mueve dos turbinas (o dos cuerpos de la misma turbina). Las turbinas mueven un alternador y es ahí donde se produce la energía eléctrica.

El combustible se vuelve altamente radiactivo en el reactor. Este combustible irradiado se almacena en piscinas y se deja "enfriar" durante 2 años antes de enviarlo a plantas de tratamiento químico. En estas plantas se recupera el uranio remanente y el plutonio formado y no quemado. El resto de los materiales contaminados se procesa y almacena en forma compacta para que no entre en contacto con la biosfera. La empresa Nacional de Residuos Radiactivos se encarga del proceso [ENRESA](#)



Estos son algunos datos de la central de **Trillo1** (Foto facilitada por el **Foro Nuclear**). En [su página](#) puedes ver información sobre distintas centrales y hacer algún trabajo sobre ellas.

Potencia térmica del reactor 3010 MW
Potencia eléctrica 1066 MW . Esto supone un rendimiento de aproximadamente un 30%.

Datos de reactor

Diámetro = 3,45 m

Altura = 3,4 m

Combustible

Peso de la carga inicial de uranio = 93,9 kg

Numero de elementos de combustible 177

Número de barras de combustible = 236

Peso de un elemento de combustible 730 kg en forma de óxido de uranio.

Barras de control

Número de conjuntos de control 52

Número de barras de control por conjunto 20

Sistema de generación de vapor

Número de circuitos de refrigeración 3

Caudal total medio del refrigerante 15,8 kg/s

Temperatura de entrada al reactor 293 ° C

Temperatura de salida del reactor 352 ° C

Presión del sistema 158 bar
Superficie de transmisión de calor 5400 m² /GV

Turbina

De condensación de vapor con un cuerpo de alta presión y tres cuerpos de baja presión de doble flujo
Velocidad de rotación 3000 rpm
Presión del vapor principal a la entrada 68 bar
Caudal total 1650 kg/s
Temperatura entrada a la turbina 284°C

Alternador

Potencia efectiva 1066 MW
Factor de potencia 0,9
Frecuencia 50 Hz
Tensión entre bornes 27000 V

Sistema de refrigeración

Dos torres de refrigeración natural
Caudal de refrigeración 44.600 kg/s
Caudal de extracción del río Tajo 1,2 m³ /s aprox. 1200 kg/s
Caudal devuelto al Tajo 0,6 m³/s = 600 kg/s
Temperatura de entrada del condensado en la torre 37°C
Temperatura de salida a las balsas 26°C

Primera central eléctrica.

USA

Las centrales para el estudio de la energía atómica aplicada a usos pacíficos (Átomos para la Paz), se desarrollaron por el Laboratorio Nacional para la generación de electricidad [ARGONNE \(ver\)](#).

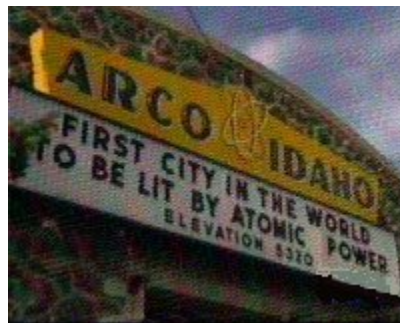


A lo largo de 40 años (hasta 1993) se construyeron 52 modelos de reactores en IDAHO. El primero está abierto al público y se considera Monumento Nacional.



Walter Zinn (en la foto se ve a la derecha de Enrico Fermi) fue el primer director del proyecto que consistía en calentar agua y producir vapor que, al descargarlo sobre una turbina producía el movimiento de una bobina en un campo magnético para generar corriente eléctrica. Tenía la idea, que había compartido con Fermi, de lograr un **reactor reproductor** que, al mismo tiempo que producía energía, produjera también Pu para usar a su vez como combustible.

W. Zinn construyó el primer generador que entró en funcionamiento en 1945 y daba energía al pequeño pueblo de Arco (situado a 32 km de la central). Quedó demostrado que era posible y con ello se ponían en marcha el estudio teórico y la ingeniería necesaria para fabricar centrales nucleares.



URSS

El primer reactor empleado en la producción de energía eléctrica en la antigua **Unión Soviética (Moscú 1954)** utilizó como combustible 550 kg de U enriquecido al 5% en U-235. Tenía 60 barras de U y 18 barras de Cd. Era del tipo PWR. Utilizaba grafito como moderador y el agua, a una presión de 100 at en el circuito de refrigeración del reactor, alcanzaba los 265°C. La central tenía una potencia útil de 5.000 KW con un rendimiento de un 17% ya que la masa desaparecida en la reacción equivale a unos teóricos 30.000 KW.

¿Una alternativa o la alternativa?

La energía atómica, que tiene muchos detractores, es una solución para obtener la energía necesaria para el desarrollo de la sociedad ya que un mayor bienestar va acompañado de gran consumo de energía.

El petróleo va a escasear en pocos años y las energías alternativas (eólica, solar, fotovoltaica, etc) no pueden suministrar las enormes cantidades de energía que necesitan la industria y el transporte.

La gran solución es la energía de fusión que desgraciadamente aún no está disponible. Mientras esto no se consiga, mucha gente empieza a pensar que es mejor una contaminación conocida, localizada y controlable, como la nuclear, que otra que estamos lanzando al medio de manera incontrolada sin saber bien los terribles cambios que pueden producir en la Tierra en forma de efecto invernadero y de lluvia ácida.

Direcciones importantes para que sepas más sobre la energía nuclear:

[Foro de la Industria Nuclear Española](#)

[Consejo de Seguridad Nuclear](#)

[Sociedad Nuclear Española](#) .

[FORATOM](#) (en inglés)

[International Atomic Energy Agency](#) (IAEA).(en inglés)

[Nuclear Energy Agency](#) (NEA-OCDE) (en inglés)

Energía Nuclear: Proceso de fusión

La **fusión** es el proceso por el que dos núcleos de átomos ligeros (H, He, etc) se unen para formar un nuevo elemento más pesado.

Para lograrlo hay que suministrar a los átomos la energía suficiente para que, superando la repulsión electrostática, se acerquen tanto sus núcleos que queden bajo la atracción de la fuerza nuclear fuerte residual aglutinados.



Para que se inicie la fusión se requiere una energía inicial de activación pero, una vez iniciada, la reacción es exotérmica y la energía liberada la automantiene. La fusión se produce en el Sol,

pero para que los átomos de H de un globo aerostático se unan para formar He deben acercarse lo suficiente para que surjan las fuerzas de enlace entre sus núcleos (para ello necesitan una energía de activación).

Reacción de fusión

Deuterio: 1p+2n



Tritio: 1p+3n



neutrón



helio



Lograr la fusión de forma controlada tiene grandes dificultades técnicas. Se requiere muchísima energía de activación (hay que poner los átomos de combustible a 100 millones de °C) por eso esta reacción se denomina termonuclear. A esta temperatura la materia se encuentra en estado de plasma (átomos en un mar de electrones desligados) y no se puede confinar en ningún recipiente porque ninguno soporta esta temperatura.

La bomba de H es un ejemplo de reacción termonuclear no controlada. Para iniciar la reacción se hace explotar una bomba atómica convencional de uranio que aporta la energía inicial necesaria.

Los estudios para dominar y controlar los procesos de fusión van en dos direcciones.

Líneas de investigación

Cómo lograr **plasma de fusión**

Calentando la materia se consiguen grandes temperaturas que son el reflejo de una gran energía cinética de los átomos. En estas condiciones la materia se encuentra en forma de gas ionizado (plasma). El 99% de la materia del Universo está constituido por materia ionizada (plasma).

Una vez alcanzado el estado de plasma debemos conseguir que los átomos se fusionen.

La gran energía cinética de los iones logra fusionar los núcleos.

Para conseguir un rendimiento neto positivo en una reacción de fusión es necesario calentar un plasma a T de hasta 100 millones de °C, con densidades muy altas y durante segundos.

Para controlar la fusión en el laboratorio hay que conseguir altas T de ignición y lograr que se mantenga con la energía suministrada por la propia reacción (sin aporte de energía exterior).

Para lograr esto se siguen dos líneas de investigación:

a) Confinamiento magnético

Se crea un potentísimo campo electromagnético con potentes bobinas que mantiene el plasma confinado en una zona del espacio sin dejarlo expandir para mantener su T y lograr que la reacción se automantenga y así poder retirar la energía por refrigeración. Ningún recipiente puede, sin fundirse, mantener encerrado un gas a esas T.

El confinamiento se lleva a cabo en el Tokamak, máquina inicialmente diseñada en la antigua URRS, donde los iones giran atrapados en un campo magnético.

La investigación en el campo de la fusión por confinamiento magnético es, en la actualidad, la más avanzada de cara a la construcción de un futuro reactor de fusión.

Así se investiga hoy [en Japón](#).

Aquí puedes operar tu [virtual Tokamak](#).

[Investigación española sobre la Fusión](#) en donde puedes ampliar conceptos.

[Centro Europeo](#)

Situado en Culham en UK, el Joint European Torus es el resultado de la colaboración Europea.

b) Confinamiento inercial.

En este procedimiento el calentamiento y el confinamiento se hacen al mismo tiempo.

Una diminuta cápsula de combustible se comprime fuertemente convirtiéndose en un plasma de muy alta densidad. Esta compresión origina la ignición en el centro que se propaga hacia el exterior, donde el combustible está más frío. La ignición dura mientras el combustible se mantiene confinado por su propia inercia (el confinamiento inercial no puede ser estacionario y dura nanosegundos).

El confinamiento y el calentamiento se consiguen con potentes láseres que se

hacen incidir sobre la diminuta cápsula (microesfera). Al vaporizar la superficie exterior se logra comprimir momentáneamente el combustible.

Ampliar

Utiliza un buscador de Internet para conocer el estado actual de estas investigaciones.

Ventajas de la fusión frente a la fisión

- La fusión no produce residuos radiactivos como la fisión: es una energía limpia
- La fusión no produce átomos radiactivos en los gases circundantes: no contamina por escape de los refrigerantes a la atmósfera.
- El combustible nuclear es muy abundante (Hidrógeno,deuterio, tritio).
- Tiene mayor rendimiento energético por nucleón que la de fisión.
- La fusión es un proceso limpio, de energía barata y duradera que tecnológicamente se resiste a ser dominado por el hombre
- Las energías nucleares (fisión y fusión) tienen frente a la térmica la ventaja de evitar el envío de CO₂ a la atmósfera que contribuye al efecto invernadero y a la lluvia ácida.

PROBLEMAS

Problema 0

Con este problema podrás repasar algunos conceptos previos

Un isótopo radiactivo tiene un número atómico $Z= 92$ y $A= 235$, su masa atómica es 235,0439 y su densidad $18,92 \text{ g / cm}^3$.

- ¿De qué elemento químico se trata?
- ¿Cuál es número de neutrones?
- ¿Cuántos átomos hay en 100 gramos?
- ¿Qué volumen ocupan los 100 g?
- ¿Cuántos átomos hay por cm^3 ?

Nota. Pasa el puntero del ratón sobre el botón soluciones para verlas. En las soluciones las potencias de 10 se verán así: $10^3 = E3$
Si no eres capaz de resolver los problemas con la ayuda, consulta su resolución. Para cerciorarte de aprendiste a hacerlos, trata de resolverlos más tarde sin consultar la resolución.

Busca en la RED una tabla periódica y utilízala para consultar valores.

Averigua de que elemento se trata.

Pasa el cursor del ratón sobre soluciones para conocer sus valores y comprobar tus resultados. Usa la ayuda para resolverlo y si no eres capaz consulta la resolución.

Ayuda: **Conceptos previos**

Solución

a) Mirando en una tabla periódica vemos que es el **Uranio**.

Lanza otra vez el navegador (sin cerrar este) y busca una tabla en la red. Elige la que más te guste.

H																			He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Lv	Ts	Uu	Juu	Uub						
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

b) Su número de neutrones será: $235 - 92 = 143$

c) Si en la masa atómica de ese elemento hay un mol de átomos, a 235,049 g le corresponden $6,023 \cdot 10^{23}$ átomos, y a 100 g le corresponderán x. Haciendo la proporción obtenemos $2,65 \cdot 10^{23}$

d) Mira la densidad del U en la tabla periódica. Encontrarás 18,92 g / cm³. Es la densidad del U natural, mezcla de varios isótopos. Tomamos este valor como la densidad del isótopo de este problema (como si toda la muestra estuviera formada por este isótopo porque las propiedades del núcleo apenas van a influir en los enlaces metálicos de la masa de U).

Aplicando la proporción que dice que si 18,92 gramos ocupan 1 cm³, los 100 g ocuparán : $18,92/1 = 100/x$; $x = 5,28 \text{ cm}^3$

e) Si los 100 g contienen $2,65 \cdot 10^{23}$ y ocupan 5,28 cm³ en un cm³ tendremos: $5,28 / 2,65 \cdot 10^{23} = 1 / x$; $x = 5,01 \cdot 10^{22}$ átomos, por lo tanto, en 1 cm³ hay $5,01 \cdot 10^{22}$ átomos.

NOTA. Recuerda que un mol de sólido no ocupa 22,4 litros, como lo hace un mol de cualquier gas en condiciones normales (p= 1atm; T=0°C =273 K).

Problema 1

a) ¿Por qué un isótopo de Z= 56 y A= 141 tiene una masa atómica de valor 140,91? Usa la masa de los protones y neutrones que aquí se indican: $m_p = 1,007276$, $m_n = 1,008665$ y comprueba que no coincide con la suma de la masa de los protones y neutrones.

b) Calcula la masa de los protones y neutrones expresada en kg.

Ayuda: **Conceptos previos**

Solución

a) Si $A = 141$, el número de neutrones es: $141 - 56 = 85$

Nº	Tipo de nucleón	Masa	Masa total
56	Protones	1,007276	56,4074
85	Neutrones	1,008665	85,7365
			142,1439

La suma de la masa de los protones y los neutrones cuando están separados tiene un valor de 142,1439. Este valor es mayor al obtenido midiendo la masa del átomo directamente por espectroscopía en el laboratorio (140,91 dato del problema).

b) La masa de los neutrones en Kg se calcula multiplicando su masa en u.m.a. por la masa de la $u = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

$$\text{masa protón} = 1,007276 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} = \mathbf{1,672 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}$$

$$\text{masa neutrón} = 1,008665 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} = \mathbf{1,674 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}$$

Solución utilizando una hoja de cálculo

	A	B	C	D
1	Problemas con hoja de cálculo			
2	nucleones	número	masa	total
3	protones	56	1,007276	56,407456
4	neutrones	85	1,008665	85,736525
5				142,143981

Lanza una hoja de cálculo e inténtalo.

Fíjate que unas celdas las usas como simples etiquetas para recordar lo que pones en la celda de al lado. Esas celdas llevan sólo texto, no se pueden usar en los cálculos. Las celdas que llevan una fórmula empiezan por el signo igual (=). Así, si quieres multiplicar lo que contiene la celda B4 por lo que tiene la C4 debes poner: = B4*C4.

En la casilla-celda- D4 se calcula la suma de D3 + D4. Si te sitúas en ella y pulsas el Σ que figura en la barra de herramientas el programa te sugiere la fórmula suma que abarca las dos celdas situadas por encima: = SUMA (D3:D4).

Si haces una serie de problemas en los que tengas que usar la masa de los protones y neutrones y dejas abierta una hoja de cálculo, no tienes que escribir su valor cada vez. Evitas errores y te resulta más fácil revisar las operaciones

Problema 2

La masa atómica del isótopo del uranio de números $Z = 92$ y $A = 235$ es 235,0439

a) ¿Cuál es el defecto másico?

b) Explica por qué la masa atómica del uranio es 238,029. Datos: $m_p = 1,007276$, $m_n = 1,008665$.

Ayuda: **Conceptos previos**

Solución

Nº	Tipo de nucleón	Masa	Masa total
92	Protón	1,007276	92,6693
143	Neutrón	1,008665	144,2391
			236,9084

a) Defecto másico es la diferencia entre la masa hallada sumando la masa de neutrones y protones del núcleo y la masa medida del átomo (masa atómica)
 $Dm = 236,9084 - 235,0439 = \mathbf{1,8645}$

b) Si miras en una tabla periódica la masa atómica del U verás que es 238,029 y no coincide con la masa del isótopo del ^{235}U dada en el problema. Cuando nos referimos al U en general hablamos del que se encuentra en la naturaleza que está formado por varios isótopos en una proporción constante: 99,3% de ^{238}U , 0,7% de ^{235}U y sólo 0,01% de ^{234}U . La masa de la tabla periódica corresponde a la masa media de todos sus isótopos y está muy próxima a la masa atómica de su isótopo 238 por ser el más abundante.

Si decides hacerlo con la hoja de cálculo obtendrás algo como esto:

	A	B	C	D
1	Tipo nucleón	numero	masa	
2	protón	92	1,007276	92,669392
3	neutron	143	1,008665	144,239095
4				236,908487

Problema 3

En una reacción nuclear una partícula choca con un núcleo y lo fisiona. La suma de las masas de la partícula y del núcleo es mayor en 0,2 u que la suma de la masa de los núcleos y partículas que se originan en la reacción.

¿Qué energía se liberó? Fíjate en que esa energía es la liberada por cada núcleo que reacciona.

Recuerda que en unos pocos gramos de materia hay casi cuatrillones (10^{24}) de átomos. ¿Te imaginas la energía que se libera si se transmutan unos pocos gramos de uranio?.

Ayuda

Repasa en los conceptos previos lo que significa defecto másico.

Repasa la estabilidad nuclear y la energía ligada a este proceso.

Recuerda que $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}$

Solución

Según la ecuación de Einstein $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

Teniendo en cuenta que una u.m.a = u (unidad de masa atómica) equivale a $1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ y que la velocidad de la luz es de $2,9970 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$\Delta E = 1,6605 \cdot 10^{-27} \cdot (2,9970 \cdot 10^8)^2 = 1,4924 \cdot 10^{-10} \text{ J}$ que equivalen a 931,47 MeV

En efecto si $1 \text{ eV} = \text{carga del electrón} \cdot 1 \text{ V} = 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Los $1,4924 \cdot 10^{-10} \text{ J}$ producidos por el defecto másico de 1 u producirán $9,314 \cdot 10^8 \text{ eV} = 931,4 \text{ MeV}$ (mega electrón voltios)

Las 0,2 u producirán **186,28 MeV**.

Problema 4

¿Cuál es la energía total de ligadura del ^{12}C y cuál es la energía de ligadura por nucleón?.

Recuerda que la unidad de masa atómica (u.m.a.) se define como 1/12 de la masa de un átomo del isótopo de carbono, el ^{12}C . Por lo tanto la masa atómica de este isótopo será exactamente 12 u. (es el único isótopo que tiene una masa atómica sin decimales).

Datos: $m_p = 1,007276$, $m_n = 1,008665$.

Ayuda: Defecto másico

Solución

Calculamos la suma de la masa de los protones y neutrones

Nº	Tipo de nucleón	Masa	Masa total
6	Protones	1,007276	6,043656
6	Neutrones	1,008665	6,05199
			12,0956

Masa del átomo pesado en un laboratorio= 12u

Masa total hallada por la suma de la de los nucleones = 12,0955u

Defecto másico = 12,0955 – 12 = 0,0956 u

Energía = 931,47MeV/u • 0,0955 u= 89,091 MeV

La energía por nucleón será : 89,091 / 12 = **7,424 MeV**

Puedes hacerlo también con una hoja de cálculo

	A	B	C	D	E
1	Tipo nucleón	numero	masa		
2	protón	6	1,007276	6,043656	
3	neutron	6	1,008665	6,05199	
4				12,095646	masa suma
5				12	masa medida
6				0,095646	
7			Energía	89,0913796	
8					

Problema 5

a) Calcula el cambio de masa en la reacción ${}^7\text{Li} (p,n) {}^7\text{Be}$.

b) ¿Se libera energía o debemos aportarla?

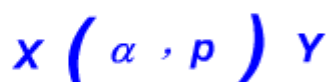
Datos: ${}^7\text{Li} = 7,01601 \text{ u}$; $p = 1,007276 \text{ u}$; $n = 1,008665 \text{ u}$; ${}^7\text{Be} = 7,01693 \text{ u}$

Ayuda:

Balance energético de las reacciones nucleares

La reacción tienen dos miembros: en el izquierdo se ponen la partícula incidente y el núcleo que va a transmutar; en el derecho el nuevo núcleo formado y la partícula emitida

Lo expresamos así:



La energía total inicial del sistema aplicando la equivalencia de masa y energía de Einstein es:

$$E_i = E_{c,\alpha} + m_\alpha c^2 + E_{c,X} + M_X c^2$$

La energía final:

$$E_f = E_{c,p} + m_p c^2 + E_{c,Y} + M_Y c^2$$



Considerando que la reacción forma un sistema aislado las energía inicial y final deben ser iguales.

$$E_i = E_f$$

$$E_{c,\alpha} + m_\alpha c^2 + E_{c,X} + M_X c^2 = E_{c,p} + m_p c^2 + E_{c,Y} + M_Y c^2$$

$$(E_{c,Y} + E_{c,p}) - (E_{c,X} + E_{c,\alpha}) = (M_X + m_\alpha) c^2 - (M_Y + m_p) c^2$$

$$E_{c,f} - E_{c,i} = m_i c^2 - m_f c^2$$

Si la masa total de los productos finales es menor que la de los iniciales, la energía cinética final es mayor que la energía cinética inicial: La reacción es **exoenergética**

Solución

La reacción corresponde a



Calculamos la masa de las partículas iniciales

	Inicial
Litio	7,01601
Hidrógeno	1,007276
Total	8,023286

Y de las finales

	Final
Neutrón	1,008665
Berilio	7,01693
Total	8,025595

La diferencia es de $8,025595 - 8,023286 = 0,002309$ u

Existe un incremento de masa $0,002309$ u que corresponde a una energía de

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0,002309 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} (3 \cdot 10^8)^2 = \mathbf{3,4 \cdot 10^{-13} J}$$

Por lo tanto, para que la reacción ocurra, hay que **aportarle** esa energía.

Si quieres expresar los julios en electrón voltios recuerda que:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ C} \cdot 1\text{V} \text{ y que } 1\text{e} \cdot \text{V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1\text{V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J.}$$

$$\text{Por lo tanto } 3,4 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 3,4 \cdot 10^{-13} / 1,6 \cdot 10^{-19} = 2,12 \cdot 10^6 \text{ eV} = \mathbf{2,12 \text{ MeV.}}$$

b) Para que la reacción transcurra, el protón debe llevar esa energía en el momento de bombardear al Li. Para adquirirla, el protón debe ser acelerado en un acelerador de partículas (ciclotrón, betatrón, etc).

Problema 6

Tenemos inicialmente $3 \cdot 10^{24}$ átomos de una sustancia radiactiva de constante de desintegración $\lambda = 0,8 \text{ años}^{-1}$.

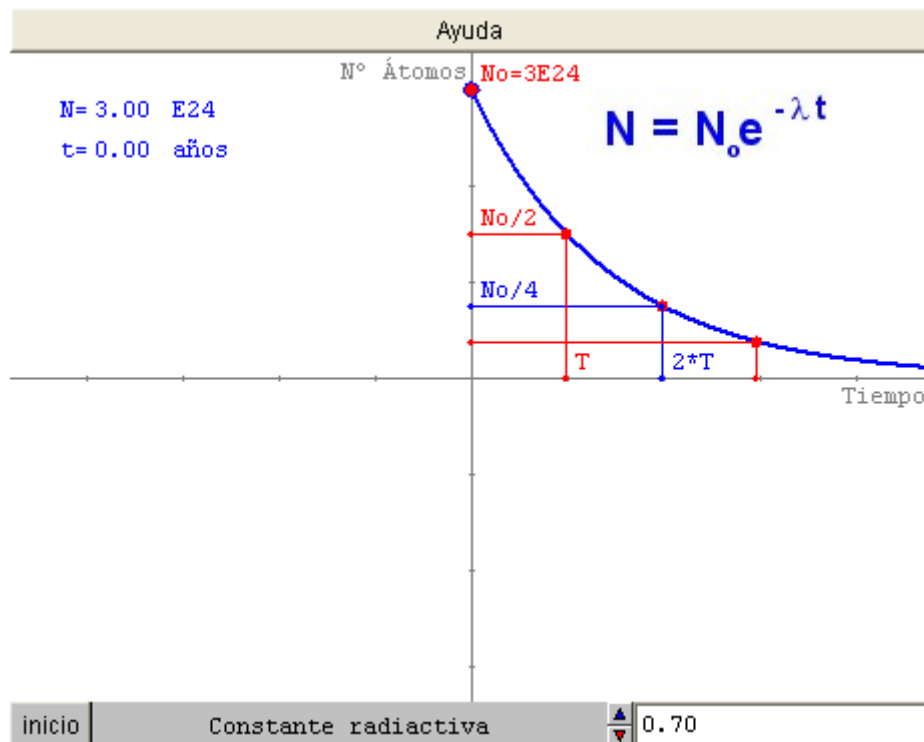
a) ¿Cuál es el periodo de semidesintegración?

b) ¿Cuál es su vida media?

c) Cuántos átomos se transmutan y cuantos quedan sin transmutar cuando transcurra un tiempo igual al doble de su periodo de semidesintegración?

d) Si su constante radiactiva fuera la mitad ¿qué le pasaría a la vida media y al periodo de semidesintegración?

Usa la ayuda de la escena para resolverlo.



Ayuda: Fija en la parte inferior de la animación la constante radiactiva al valor 0,8. Desliza el punto rojo hasta $N_0/2$ -que será la mitad de los 3 E24 iniciales- y mira el valor de t , éste tiempo será el del periodo de semidesintegración-0,87-. Mueve el punto hasta en tiempo doble periodo de semidesintegración ($t=1,74$ años) y veras que los átomos que dedan son 0,75E24. Comprueba que pasa con el periodo cuando la constante radiactiva es 0,4

Solución

Podemos resolver el problema utilizando la animación o usando las fórmulas.

a)

$$\lambda = \frac{0,69}{T}$$

$$T = 0,69 / 0,8 = \mathbf{0,87 \text{ años}}$$

b) La vida media será el valor inverso de λ , por lo tanto

$$Q = 1 / \lambda = 1 / 0,8 = \mathbf{1,25 \text{ años}}$$

c) Aplicando la fórmula

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

$$N = 3 \cdot 10^{24} e^{-0,8 \cdot 1,74}$$

$N = 0,75 \cdot 10^{24}$ átomos que se transmutaron. Queda la **cuarta parte** de los átomos iniciales.

En la escena 10^{24} se escribe como E^{24}

d) Si la constante radiactiva fuera 0,4 el periodo de semidesintegración se doblaría, tal como se desprende de la relación de la fórmula:

$$\lambda = \frac{0,69}{T}$$

$$T = 0,69 / 0,4 = \mathbf{1,74 \text{ años}}$$

Problema 7

Un núcleo de radio emite una partícula alfa y se convierte en un núcleo de radón según el siguiente proceso:



La energía liberada se manifiesta en forma de energía cinética en la partícula alfa.

a) ¿Cuál es su energía cinética?

b) ¿Podrán surgir los cuatro nucleones que lo forman por separado (2n y 2p) en lugar de salir todos juntos dentro de la partícula alfa?

Datos: $m_{\text{Ra}} = 226,0254 \text{ u}$; $m_{\text{Rn}} = 222,0175 \text{ u}$; $m_{\alpha} = 4,0026 \text{ u}$

Ayuda: Sólo tienes que escribir la ecuación y hallar la masa de las sustancias iniciales y finales para restarlas. Recuerda que: si los átomos obtenidos tiene menor masa, la reacción es exotérmica. Repasa la conservación de la energía en el apartado - ecuaciones: leyes -

Solución

a) Calculamos la variación de masa para la reacción nuclear indicada:

$$\Delta m = 226,0254 - 222,0175 - 4,0026 = 0,0053 \text{ u}$$

Como la variación de masa de 1 u equivale a 931,4 Mev, tenemos:

$$0,0053 \text{ u} \cdot 931,4 \text{ MeV/u} = \mathbf{4,94 \text{ MeV}}$$

b) Para que los cuatro nucleones pudieran emitirse por separado, la variación de masa del paso de Ra a Rn que es de

$$226,0254 - 222,0175 = 4,0079 \text{ u}$$

tendría que ser equivalente a la suma de la masa de los dos protones más los dos neutrones por separado que es

$$2p + 2n = 4,03301 \text{ u}$$

Como esta cantidad, 4,03301 u, es mayor que 4,0079 u no se puede dar la emisión espontánea de los cuatro nucleones por separado y salen juntos formando una partícula alfa que equivale solamente a 4,0026 u.

Problema 8

Un isótopo tiene un periodo de semidesintegración de $3 \cdot 10^5$ años. Si una muestra tiene 10^{18} átomos:

- ¿Cuántos átomos quedan después de 1000 años?
- ¿Cuál es la actividad de la muestra en el instante inicial? Expresa la actividad en desintegraciones/ segundo.
- ¿Cuál será la actividad de la muestra cuando hayan transcurrido $3 \cdot 10^5$ años?

Ayuda: ¡Es muy fácil!, sólo tienes que repasar los conceptos de periodo de semidesintegración y actividad y aprender las fórmulas.

Se aprenden antes si las escribes varias veces.

Si partes del periodo en años, la constante la obtendrás en años elevados a -1

Solución

a)

$$\lambda = \frac{0,69}{T}$$
$$\lambda = \frac{0,69}{T} = \frac{0,69}{3 \cdot 10^5} = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ años}^{-1}$$

Al cabo de 1000 años quedarán N átomos

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = 10^{18} \cdot e^{-2,3 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = \mathbf{9,99 \cdot 10^{17} \text{ átomos.}}$$

Como puedes observar se han transformado muy pocos, aproximadamente el 1%.

b) Para calcular la actividad inicial de la muestra partimos de la fórmula de la desintegración:

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

Derivando la expresión inicial

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0$$

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 = 10^{18} \cdot 2,3 \cdot 10^{-6} = 2,3 \cdot 10^{12}$$

Actividad = $2,3 \cdot 10^{12}$ desintegraciones/año = $2,3 \cdot 10^{12} / (365 \cdot 86400) = \mathbf{7,2 \cdot 10^4}$
desintegraciones / segundo

c) La actividad es proporcional al número de átomos radiactivos:

$$\text{Actividad} = \frac{dN}{dt} = \lambda N$$

Al pasar un periodo de semidesintegración quedarán la mitad de los iniciales y por lo tanto la actividad se habrá **reducido a la mitad**.

Problema 9

Se dispone de 1 mol de ^{32}P (fósforo radiactivo), cuyo periodo de semidesintegración es 14,6 días, Calcula:

- ¿Cuántas desintegraciones por segundo se producen inicialmente?
- ¿Cuántos días tardará en desintegrarse el 90% del material?

Ayuda: Repasa los conceptos de periodo de semidesintegración, constante radiactiva y actividad y aprende las fórmulas.

Recuerda que la actividad de un isótopo considerado individualmente disminuye con el tiempo.

Si se desintegran el 90% de los átomos iniciales, aún queda un 10% ($N = N_0/10$)

Solución

$$\text{a) } T = 14,6 \text{ días} = 1,26 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$\lambda = \frac{0,69}{T}$$

$$\lambda = 0,69 / 1,26 \cdot 10^6 = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

Derivando de la expresión

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

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0$$

Inicialmente tenemos 1 mol de P que tiene $6,023 \cdot 10^{23}$ átomos radiactivos

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 = 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 5,5 \cdot 10^{-7} = 3,31 \cdot 10^{17} \text{ Bq}$$

Por lo tanto **$3,31 \cdot 10^{17}$ desintegraciones/s**

b) Cuando se hayan desintegrado el 90% de los átomos iniciales quedarán el 10 % = $0,1 N_0$

$$N = 0,1 \cdot N_0 = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$0,1 = e^{-5,5 \cdot 10^{-7} t}; t = -\ln 0,1 / 5,5 \cdot 10^{-7} = 4,1 \cdot 10^6 \text{ s} = \mathbf{48,5 \text{ días}}$$

Problema 10

Un miligramo de ${}^{60}_{27}\text{Co}$ se desintegra de acuerdo con la reacción



siendo el periodo de semidesintegración 5,3 años. Hallar:

a) La energía desprendida.

b) El número de desintegraciones/ segundo en el momento inicial.

Datos: $m_{\text{Co}} = 59,9190 \text{ u}$; $m_{\text{Ni}} = 59,915439 \text{ u}$; $m_e = 5,486 \text{ u}$; $u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

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

Ayuda: Si calculas la variación de masa en esta reacción, puedes, por medio de la ecuación de Einstein, calcular la energía generada.

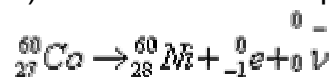
¡Si desaparece masa, aparecerá energía!

(ver ayuda problema 5)

Debes calcular los átomos que hay en 1 mg inicial de Co para saber las desintegraciones iniciales (actividad)

Solución

a) Variación de masa por átomo en la reacción de desintegración



$$\Delta m = 59,9190 - (59,915439 + 5,486) = 0,0030224 \text{ u}$$

$$\Delta m = 0,0030224 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} = 5,017 \cdot 10^{-30} \text{ kg/ cada átomo}$$

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 5,017 \cdot 10^{-30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 4,515 \cdot 10^{-13} \text{ J / cada átomo}$$

1 mg de cobalto tiene N_0 átomos (los iniciales de la reacción)

$$\text{La masa de un átomo es } 59,9190 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 9,946 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

$$\text{En 1mg de Co hay } N_0 \text{ átomos: } N_0 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / 9,946 \cdot 10^{-26} \text{ kg} = 1,005 \cdot 10^{19} \text{ átomos}$$

La energía liberada por 1 mg que contiene estos átomos es

$$\Delta E = (\text{energía liberada por átomo}) \cdot (\text{por los átomos de 1 mg}) = 4,515 \cdot 10^{-13} \cdot 1,005 \cdot 10^{19} \text{ J}$$

$$\Delta E = 4,5225 \cdot 10^6 \text{ J}$$

b) Derivando la expresión

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

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

Actividad inicial = Átomos iniciales · Constante radiactiva

La constante radiactiva es

$$\lambda = \frac{0,69}{T}$$

El tiempo, T, hay que expresarlo en segundos.

$$\text{Actividad} = 1,005 \cdot 10^{19} \cdot 0,6931 / 5,3 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 4,169 \cdot 10^{10}$$

desintegraciones /s

Evaluación

- ¿Conoces el origen de la radiactividad, su composición y propiedades ?
- ¿Comprendes cómo la utilización de estas partículas como proyectiles llevó al estudio y a la comprensión del núcleo atómico y al descubrimiento de otras partículas ?
- ¿Conoces las leyes que rigen la desintegración radiactiva ?
- ¿Puedes escribir los símbolos y las ecuaciones de los procesos radiactivos, comprendiendo su significado ?
- ¿Comprendes y manejas en la resolución de problemas los conceptos de constante radiactiva, periodo de semidesintegración y vida media?
- ¿Sabes realizar cálculos de las variaciones energéticas asociados a las reacciones de desintegración radiactiva ?
- ¿Entiendes el concepto de energía de ligadura atómica y su valor por nucleón?
- ¿Entiendes las energías de fusión y de fisión como dos fenómenos de cambio energético que acompañan en la producción de átomos más estables en sus respectivas reacciones ?
- ¿Puedes valorar las ventajas y los riesgos de la energía nuclear ?
- ¿Puedes buscar en la RED y a diferenciar los enlaces importantes e institucionales?

La siguiente prueba te servirá para evaluar qué has aprendido con el estudio de este tema:

Evaluación >>>

1. El descubrimiento de la radiactividad podrías calificarlo de

- A. ? hecho fortuito realizado por un investigador competente y preparado.
- B. ? búsqueda organizada del fenómeno.
- C. ? desarrollo de una investigación con fines prácticos para la industria.

2. La radiactividad es un proceso....

- A. ? exclusivamente propio del núcleo
- B. ? propio del conjunto del átomo
- C. ? de interacción entre electrones

3. Las partículas que emiten las sustancias radiactivas...

- A. ? tienen carga eléctrica positiva.
- B. ? tienen carga eléctrica negativa.
- C. ? algunas no tienen carga eléctrica, pero otras la tienen: unas positiva y otras negativa.

4. El neutrón y el protón son los dos...

- A. ? nucleones, pero muy diferentes y se repelen entre si.
- B. ? totalmente iguales, excepto en la carga eléctrica.
- C. ? nucleones pero el neutrón tiene una masa ligeramente mayor que el protón.
El neutrón no tiene carga y el protón tiene carga positiva.

5. ¿A qué átomos se les puede llamar núclidos?

- A. ? A los que tienen iguales sus números másicos pero no pertenecen al mismo elemento químico.
- B. ? A los que son de un mismo elemento químico y tienen iguales sus números atómicos y másicos .
- C. ? A los que tienen iguales sus números atómicos, Z, y pertenecen al mismo elemento químico pero tienen diferentes sus números másicos, A.

6. De la radiación gamma se puede afirmar que:

- A. ? se mueve casi a la velocidad de la luz.
- B. ? no tiene carga eléctrica.
- C. ? tiene gran poder de ionización.

7. ¿Se puede aumentar la velocidad a la que se transmutan los átomos radiactivos?

- A. ? Si, aumentando la presión.
- B. ? Si, aumentando la temperatura.
- C. ? No se conoce ninguna manera de aumentar su velocidad.

8. Las partículas negativas emitidas por una sustancia radiactiva perpendicularmente a un campo magnético, sufren la acción es éste, y la fuerza sobre ellas las desvía ...

- A. ? hacia el polo sur en la dirección del campo.
- B. ? hacia el polo norte en la dirección del campo.
- C. ? describiendo una curva que las separa en igual medida del polo norte y del polo sur.

9. Los campos magnéticos pueden abrir un haz radiactivo y separar sus componentes, pero un campo eléctrico no puede hacerlo.

- A. ? Falso
- B. ? Correcto
- C. ? Sólo a veces

10. ¿Por qué a pesar de tener la carga eléctrica del mismo signo los protones permanecen unidos en el núcleo?

- A. ? Porque los neutrones interfieren entre ellos evitando su repulsión.
- B. ? Porque la carga eléctrica desaparece en las distancias cortas.
- C. ? Debido a la fuerza nuclear fuerte residual entre los gluones.

11. Las partículas alfa salen siempre de todos los materiales que las emiten...

- A. ? con igual velocidad.
- B. ? con igual velocidad y en diferentes direcciones.
- C. ? con diferente velocidad y en diferentes direcciones.

12. La proporción de neutrones a protones en los núcleos pesados es mayor que en los núcleos ligeros.

- A. ? Falso.
- B. ? Cierto.
- C. ? A veces.

13. La energía de ligadura por nucleón es mayor en los elementos intermedios que en los pesados y los ligeros.

- A. ? Falso
- B. ? Cierto
- C. ? No se cumple esta regla.

14. Si la energía de ligadura por nucleón es mayor en los núcleos que se forman que en los que reaccionan, ...

- A. ? se desprende energía y el enlace es menos estable.
- B. ? se desprende energía, el enlace es más fuerte y el núcleo más estable.
- C. ? se absorbe energía y el enlace es menos estable.

15. La emisión de una partícula beta se produce porque en un núcleo con exceso de neutrones uno de ellos se transforma en protón y al mismo tiempo se emite un electrón.

- A. ? Falso.
- B. ? Correcto.
- C. ? A veces.

16. La emisión de una partícula alfa transforma el núcleo en ...

- A. ? otro núcleo del mismo número atómico.
- B. ? otro núcleo de número atómico dos veces menor.
- C. ? otro núcleo con el mismo número de protones pero con cuatro neutrones menos.

17. La constante radiactiva expresa

- A. ? la actividad de una sustancia radiactiva.
- B. ? la velocidad de desintegración.
- C. ? la probabilidad de transmutarse un núcleo en la unidad de tiempo.

18. El periodo de semidesintegración y la vida media son

- A. ? el mismo concepto.
- B. ? diferentes conceptos y el valor del periodo de semidesintegración es siempre menor que la vida media.
- C. ? conceptos que no se pueden relacionar.

19. La actividad de un conjunto de átomos iguales de una muestra radiactiva.....

- A. ? se mantiene constante con el tiempo.
- B. ? disminuye con el tiempo.
- C. ? aumenta con el tiempo de manera exponencial.

20. Las tres series radiactivas naturales

- A. ? acaban en el bismuto.
- B. ? acaban en el plomo.
- C. ? cada una acaba en un elemento distinto del plomo ($Z= 82$) al Po ($Z= 84$)

21. Para producir radiactividad artificial, los neutrones son

- A. ? buenos proyectiles.
- B. ? peores que las partículas alfa por su poca masa.
- C. ? no mejores que las partículas beta

22. La duración de la radiactividad está condicionada por la forma de decaimiento exponencial del isótopo. Si en reducirse a la mitad los átomos iniciales tardan T , para reducirse al 75% tardarán...

- A. ? $2T$
- B. ? $4T$
- C. ? T

23. Los isótopos radiactivos obtenidos por el hombre siguen ...

- A. ? el mismo proceso radiactivo de desintegración que la radiactividad natural.
- B. ? son más estables que otros isótopos radiactivos naturales.
- C. ? tienen una radiactividad menos agresiva.

24. Las sustancias radiactivas inyectadas en los tratamientos contra el cáncer sirven para...

- A. ? solamente detectar tumores.
- B. ? destruir células.
- C. ? detectar tumores y destruir células.

25. ¿Cómo es la actividad de una muestra de sustancia radiactiva que se transmuta a través de los pasos de una serie de desintegración natural cuando se alcanza el equilibrio ?

- A. ? Igual a la actividad de un paso.
- B. ? La actividad de un paso multiplicada por el número de pasos.
- C. ? La media aritmética de los diversos pasos.

26. Sólo hay aparatos para la producción de isótopos para poder realizar un PET en ...

- A. ? Madrid y Barcelona.
- B. ? Madrid, Barcelona y Bilbao.
- C. ? Casi todas las comunidades

27. ¿Qué es la masa crítica?

- A. ? La masa mínima para que la reacción se desarrolle aceleradamente y se vuelva explosiva.
- B. ? La masa mínima para que la reacción se automantenga.
- C. ? La masa mínima para que el calor generado no escape del sistema.

28. Los neutrones producidos en la fisión nuclear de una muestra de Uranio natural son muy energéticos en el momento de emitirse y ...

- A. ? no pueden fisiónar el U-235.
- B. ? no pueden fisiónar el U-238.
- C. ? la mayor parte no fisióna nunca al U-238 ni al U-235. Sólo cuando se vuelven más lentos después de los impactos fusionan a muchos átomos de U-235.

29. Los reactores nucleares producen residuos radiactivos...

- A. ? peligrosos, pero localizados y con posibilidad de control.
- B. ? acompañados de emisión de CO₂ al medio.
- C. ? con una evolución imposible de predecir y controlar y con posible producción de una explosión incontrolada.

30. El proceso de fusión y los reactores basados en él serán ...

- A. ? una solución energética y limpia para la humanidad.
- B. ? un potente Sol, pero muy contaminante al tenerlo en la Tierra.
- C. ? una utopía por la imposibilidad de tener un recipiente que contenga una reacción a esa temperatura.

31. ¿Puedes comprar una central nuclear buscando en la red?

- A. ? Imposible
- B. ? Existen centrales destinadas a generar isótopos para fines médicos, pero no centrales eléctricas.
- C. ? Sí.

32. Las fuentes de energía en nuestro país son: petróleo 53%, carbón 18%, nuclear x%, gas natural y%, Hidroeléctrica z%. Las renovables no tienen un aporte significativo. ¿Qué valores de x, y, z crees correctos?

- A. ? nuclear=13%; gas= 12%; hidráulica= 2%
- B. ? nuclear=2%; gas= 12%; hidráulica= 13%
- C. ? nuclear=13%; gas= 2%; hidráulica= 12%

33. Francia y España no disponen de yacimientos petrolíferos. Aunque con producciones y poblaciones distintas tienen distinto número de centrales. ¿En cuánto nos aventaja Francia en el nº de centrales nucleares?

- A. ? en dos veces el número de nuestras centrales.
- B. ? en tres veces el número de nuestras centrales.
- C. ? en más de seis veces el número de nuestras centrales.

34. ¿Qué porcentaje de la energía eléctrica total producida en España es de origen nuclear?

- A. ? el 5 %
- B. ? el 8 %
- C. ? el 13 %

35. ¿Qué número de centrales nucleares hay en España?

- A. ? menos de 5
- B. ? menos de 8
- C. ? más de 8