



FÍSICA NUCLEAR

Física de 2º de Bachillerato

La física nuclear nace con el descubrimiento en 1896 de la radiactividad por el físico francés H. Becquerel y el experimento de E. Rutherford en 1911.

El descubrimiento de la estructura atómica a liberado enormes fuentes de energía y muchas y nuevas aplicaciones.

Tanto poder no está libre de riesgos: Las bombas atómicas. El control sobre la fabricación de uranio enriquecido. Las centrales nucleares y el control de los residuos que generan son algunos ejemplos.

INDICE

1. Introducción.
2. El núcleo atómico.
3. Radiactividad.
4. Estabilidad de los núcleos.
5. Reacciones nucleares.
6. Armas y reactores nucleares.
7. Las cuatro interacciones.

1. INTRODUCCIÓN

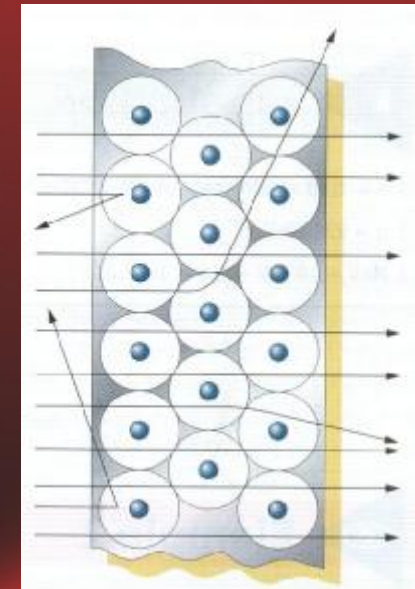
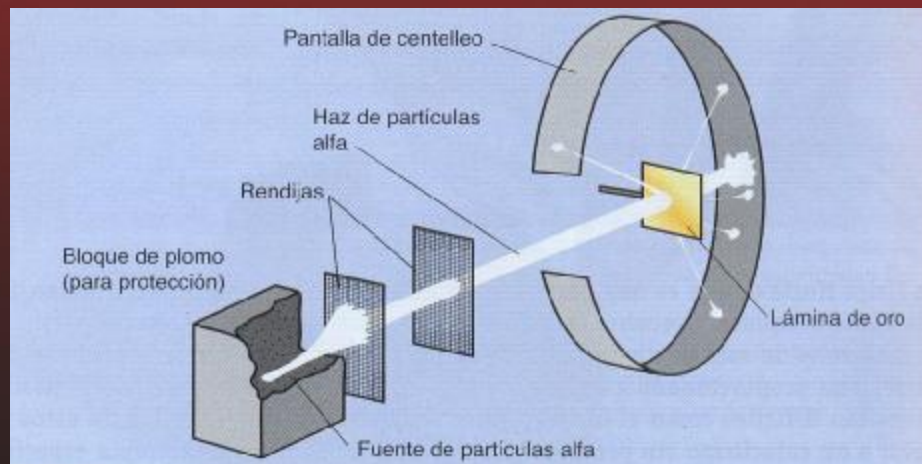
En 1895 **H Becquerel** observó que el sulfato de uranilo producía fluorescencia al incidir sobre él una radiación, pero no había relación entre las intensidades y la fluorescencia; mientras que el fenómeno si era proporcional a la cantidad de uranio en la muestra.

Posteriormente los **esposos Curie** descubrieron este mismo fenómeno en dos nuevos elementos radiactivos: el polonio y el radio.

H Rutherford estudió las radiaciones emitidas por estas sustancias y su comportamiento frente a un campo magnético descubriendo tres tipos de radiación.

2. EL NÚCLEO ATÓMICO

H. Rutherford, en 1911 propuso un modelo nuclear “planetario” a partir de su famoso experimento al bombardear láminas delgadas de oro con partículas alfa procedentes de elementos radiactivos.



Descubierto el neutrón unos años después por Chadwick el núcleo del átomo estaba formado por partículas pesadas llamadas nucleones: protones y neutrones.

El número de protones identifica a cada elemento y se le denomina **número atómico** (Z) y el número de nucleones, partículas que hay en el núcleo se le llama **número másico** (A).

$$A = N + Z$$

Se llama **núclido** a cada especie nuclear, conjunto de núcleos iguales entre sí que tienen el mismo número másico y el mismo número atómico.

Se denominan **isótopos** los átomos de un elemento que tienen el mismo número atómico y distinto número másico.

Isótopos del uranio: ${}_{92}^{234}\text{U}$ ${}_{92}^{235}\text{U}$ ${}_{92}^{238}\text{U}$

Se hace preciso definir una unidad de masa adecuada.

La **unidad de masa atómica** (u): es la doceava parte de la masa del átomo de carbono 12.

$$1 \text{ u} = \frac{1 \text{ átomo } {}^{12}_6\text{C}}{12} \times \frac{12,00 \text{ g C}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ átomos } {}^{12}_6\text{C}} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g}$$

Una unidad de masa atómica (1 u) es, en gramos, el inverso del número de Avogadro.

Podemos considerar los núcleos aproximadamente esféricos y su **radio** depende del número másico, del número de nucleones que contenga.

$$R ; 1,2 \cdot 10^{-15} A^{1/3}$$

Calcula la **densidad** de un núcleo atómico.

3. RADIATIVIDAD

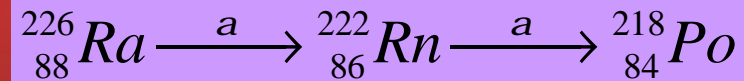
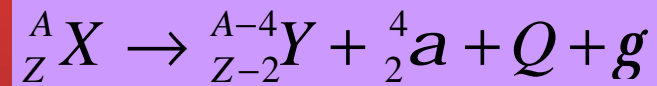
La radiactividad fue descubierta por H Becquerel y es la transformación de unos núcleos en otros por emisión de radiación.

Cuando se estudia la radiación emitida, con un campo magnético, se comprueba que existen tres tipos de radiación.

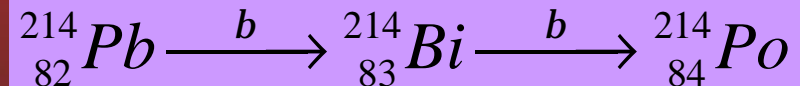
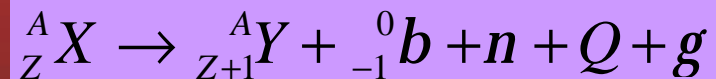
- **Radiación α :** son núcleos de He, formados por dos protones y dos neutrones. Su velocidad es baja y tienen un escaso poder de penetración.
- **Radiación β :** son electrones emitidos por el núcleo, que viajan a velocidades próximas a la de la luz y tienen alto poder de penetración.
- **Radiación γ :** es radiación electromagnética de muy alta frecuencia que procede de la desexcitación de los núcleos.

Desplazamientos radiactivos: Ley de Soddy y Fajans

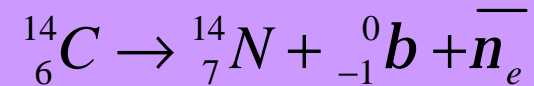
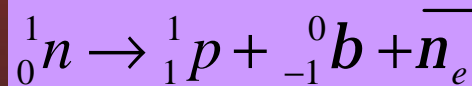
• Transformación α :



• Transformación β :



La emisión β :



La emisión β se debe a la existencia de una fuerza nuclear denominada **interacción nuclear débil**. Su alcance es aún mas corto que la interacción nuclear fuerte y su magnitud es, 10^5 veces menor.

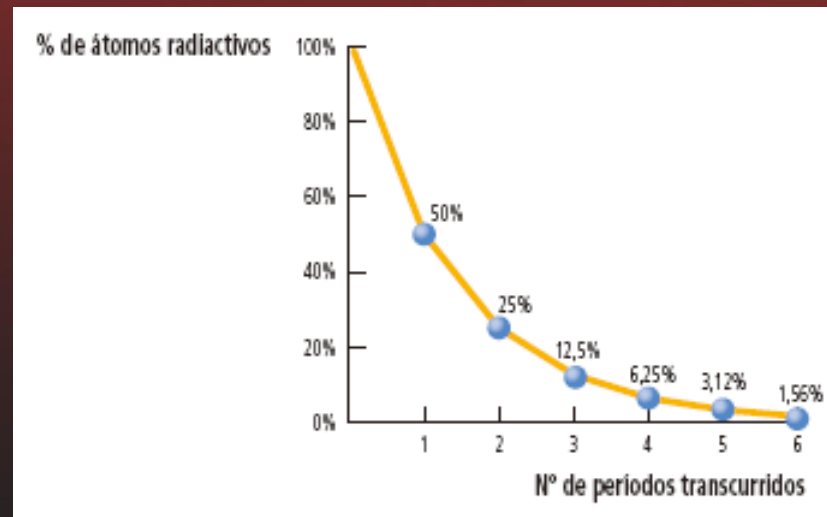
Ley de desintegración radiactiva

El número de núcleos que se desintegran en un intervalo de tiempo es directamente proporcional al número de núcleos.

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



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



Significado de la constante de desintegración: es la fracción de átomos radiactivos que se desintegran por segundo.

$$I = -\frac{dN / N}{dt}$$

Actividad: es el número de desintegraciones producidas por unidad de tiempo. Se mide en Bq (1 Bq= 1 desintegración/s)

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| \Rightarrow \boxed{A = I N}$$

Periodo de desintegración

Tiempo para que el número de núcleos se reduzca a la mitad.

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{0,0693}{\lambda}$$

Vida media

El promedio de vida. El tiempo, que por término medio, tardará un núcleo en desintegrarse.

$$t = \frac{1}{N_0} \int_{t=0}^{t=\infty} t dN = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N dt = \lambda \int_0^{\infty} t E^{-\lambda t} dt \Rightarrow t = \frac{1}{\lambda}$$

4. ESTABILIDAD DE LOS NÚCLEOS ATÓMICOS

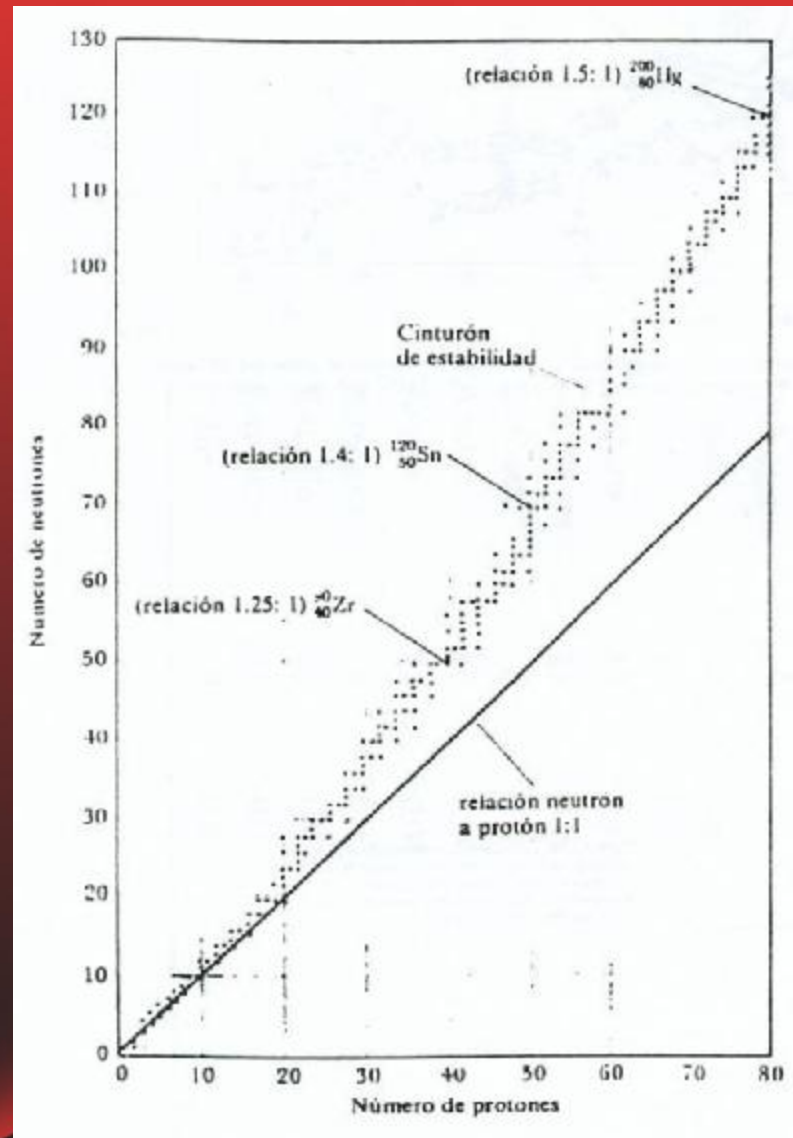
Las nucleones dentro del núcleo se encuentran a una distancia de un fermi (10^{-15} m). A esta distancia la fuerza de repulsión electrostática entre los protones es muy fuerte y la de atracción gravitatoria muy débil. En consecuencia, para que los núcleos sean estables debe existir una tercera fuerza mucho más intensa, de muy corto alcance y atractiva. Esta fuerza se denomina **fuerza nuclear fuerte**. Actúa solo sobre los nucleones y es responsable de la estabilidad de los núcleos atómicos.

Otro hecho importante es que al determinar la masa de los núcleos (con un espectrógrafo de masas) se comprobó que la masa de los núcleos es menor que la suma de las masas de los nucleones que lo forman. Esta diferencia se denomina **defecto de masa**.

Radiactividad natural y artificial

Representando el número de neutrones en función del número de protones, aparece una banda de estabilidad, fuera de ella los núcleos son inestables.

- **Radiactividad natural:** existen una serie de núcleos en la naturaleza que son inestables y emiten radiación hasta alcanzar la zona de estabilidad.
- **Radiactividad artificial:** cuando a un núcleo estable se le bombardea puede inestabilizarse y emitirá radiación hasta alcanzar la banda de estabilidad.



Series radiactivas

Cuando un núcleo inestable se transforma en otro por emisión alfa o beta, el nuevo núcleo puede ser también inestable y seguir desintegrándose. El proceso continua hasta llegar a un núcleo estable.

Actualmente se conocen cuatro series radiactivas, tres naturales y una artificial. Se denominan con el nombre del cabeza de la serie.

Series radiactivas

| NºMásico | Cadena del | Padre | Semivida (años) | Producto final |
|----------|----------------|--------|----------------------|----------------|
| 4n | Torio | Th-232 | $1.41 \cdot 10^{10}$ | Pb-208 |
| 4n+1 | Neptunio | Np-237 | $2.14 \cdot 10^6$ | Pb-209 |
| 4n+2 | Uranio-Radio | U-238 | $4.51 \cdot 10^9$ | Pb-206 |
| 4n+3 | Uranio-Actinio | U-235 | $7.18 \cdot 10^8$ | Pb-208 |

Hay elementos que son radiactivos y no pertenecen a ninguna serie: ^3H (12,4 años), ^{10}Be ($2,5 \cdot 10^6$ años), ^{14}C ($5,73 \cdot 10^3$ años). Estos isótopos se forman continuamente en la alta atmósfera por bombardeo de rayos cósmicos.

Defecto de masa y energía de enlace

Según la ecuación de Einstein, la energía equivalente a este defecto de masa es:

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - M \quad \longrightarrow \quad E = \Delta m c^2$$

Esta energía es la energía de enlace o energía de ligadura del núcleo, y es la energía que se libera al formarse el núcleo a partir de sus nucleones. Coincide con la energía que hay que comunicar para separarlos.

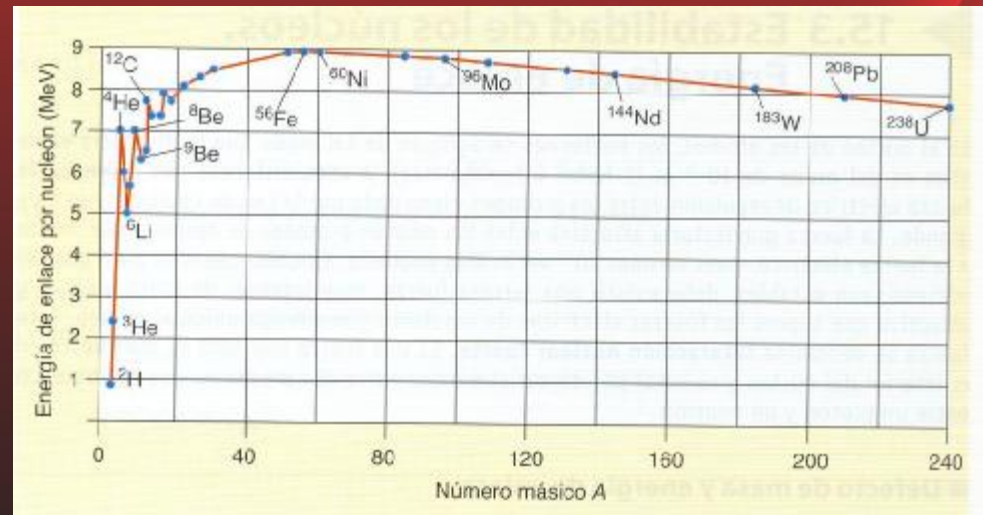
Calcula la energía correspondiente al defecto de masa de 1 u en MeV.

Energía de enlace por nucleón en función de A

Un dato muy interesante a cerca de la estabilidad de los núcleos es la representación de la energía de enlace por nucleón en función del número másico.

- Cuanto mayor es la energía por nucleón más estable es el núcleo. El más estable es el ^{56}Fe .

- Si un núcleo pesado se divide en dos más ligeros (fisión nuclear), o si dos núcleos más ligeros se unen para formar uno más pesado (fusión nuclear), se obtienen núcleos más estables y se libera gran cantidad de energía.



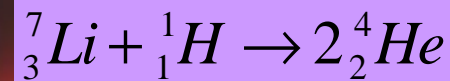
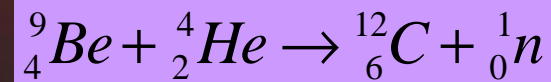
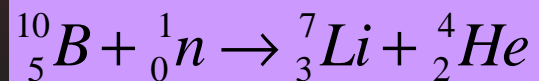
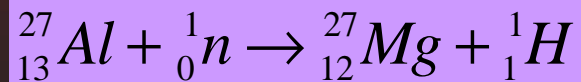
5. REACCIONES NUCLEARES

Son reacciones en las que intervienen núcleos atómicos.

En estas reacciones se conserva el número atómico y el número másico.

Primera reacción nuclear (Rutherford 1919) ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + {}_{1}^{1}\text{H}$

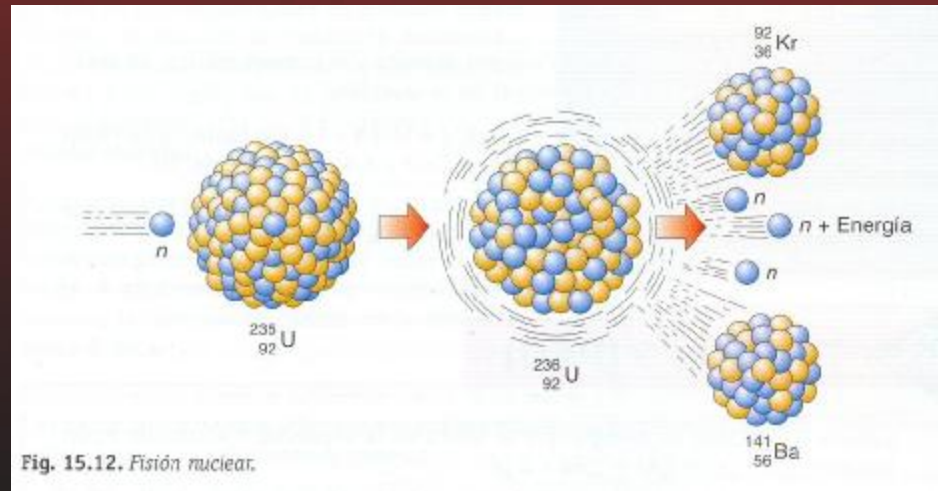
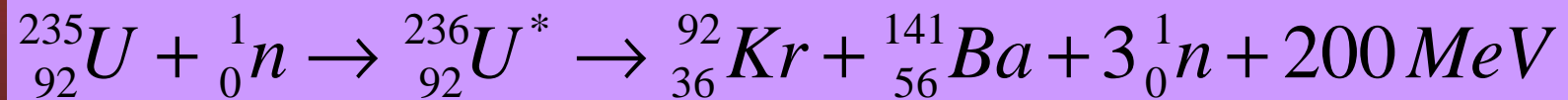
El uso de partículas alfa y protones como proyectiles para bombardear los núcleos presenta la desventaja de su repulsión electrostática, los neutrones en cambio pueden entrar más fácilmente en el núcleo.



Reacciones de fisión

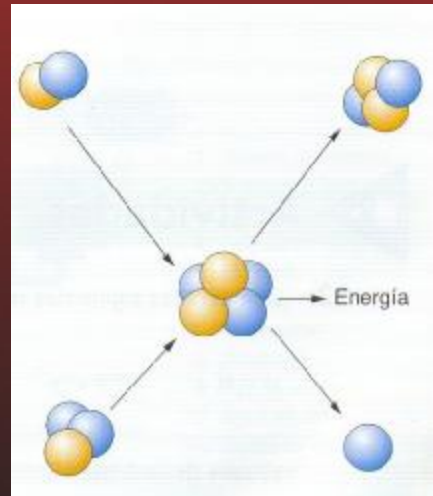
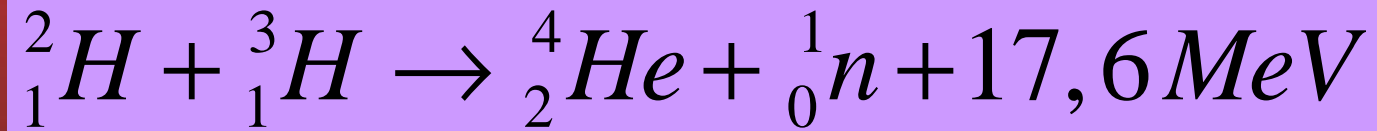
Es la división de un núcleo pesado en dos más ligeros y más estables liberando gran cantidad de energía de le proceso.

Se liberan también neutrones que hacen posible la fisión de nuevos núcleos iniciando una reacción en cadena



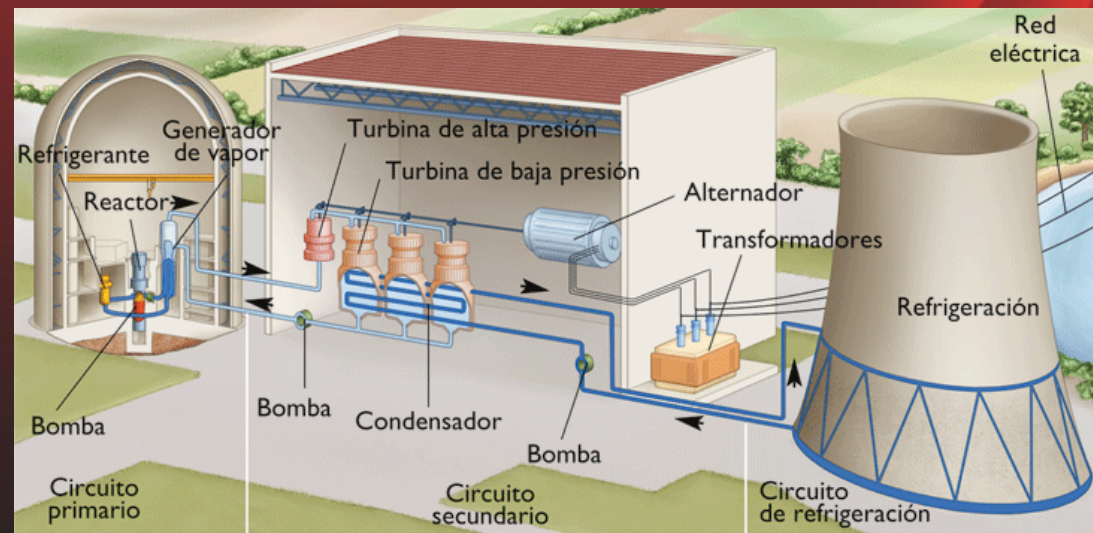
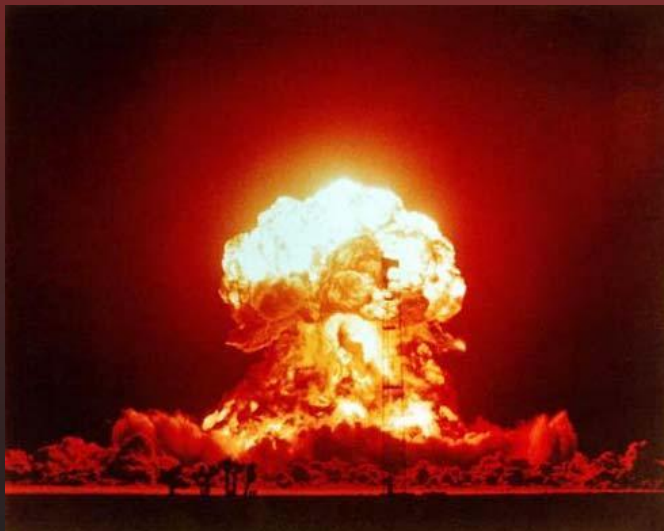
Reacciones de fusión

Es la unión de núcleos ligeros para formar núcleos más pesados y estables liberando gran cantidad de energía.



6. ARMAS Y REACTORES NUCLEARES

Si un neutrón de cada fisión produce otra fisión la reacción se mantiene y se libera energía de forma continua: esto es el fundamento de una **central nuclear**. Si en cada fisión se producen más de un neutrón capaz de producir nuevas fisiones se produce una reacción en cadena que constituye una **bomba nuclear**.



7. LA CUATRO INTERACCIONES

Existen cuatro tipos de interacciones fundamentales:

Nuclear fuerte: La más intensa, de muy corto alcance, 10^{-15} m, afecta a los nucleones. Es responsable de la estabilidad de los núcleos.

Electromagnética: es la segunda en intensidad. 100 veces menor que la interacción fuerte. Actúa sobre partículas cargadas. Es responsable de la estructura de la materia.

Nuclear débil: tiene un radio de acción de 10^{-17} m, es 10^{-5} veces menor que la interacción fuerte. Es responsable de la desintegración beta de los núcleos atómicos.

Gravitatoria: es la más débil. Es atractiva en todas las masas, su alcance es ilimitado y es responsable de la estructura general del Universo.

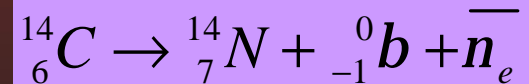
DATACIÓN ARQUEOLÓGICA POR EL MÉTODO DEL ^{14}C

El ^{14}C se forma por la acción de los rayos cósmicos, que, al interaccionar con las capas altas de la atmósfera, producen neutrones. Estos neutrones colisionan después con núcleos de ^{14}N y originan el ^{14}C según la reacción:



El isótopo formado se mezcla con el isótopo estable ^{12}C en el medio ambiente y, a través del proceso de intercambio, es ingerido por los seres vivos.

Una vez que el ser vivo fallece, el proceso de intercambio cesa y la proporción de ^{14}C comienza a disminuir por desintegración beta, según el siguiente proceso:



Así pues, midiendo la proporción residual de ^{14}C en la muestra y teniendo en cuenta que su período de semidesintegración es de 5730 años, puede determinarse la antigüedad de un resto arqueológico.

Ejemplo

Se observa que la actividad radiactiva de una muestra de madera prehistórica es diez veces menor que la de una muestra de igual masa de madera moderna. Sabiendo que el período de semidesintegración del ^{14}C es de 5730 años, calcula la antigüedad de la madera prehistórica.

Si la actividad de la muestra es la décima parte, es porque el número de átomos de ^{14}C sin desintegrar es también la décima parte del que habría originalmente, que sería el mismo que el que contiene la muestra moderna. Si N^0 es el número de núcleos de ^{14}C presentes inicialmente en la muestra, el tiempo que transcurre hasta que se reduce a la décima parte será:

$$\frac{N_0}{10} = e^{-\lambda t} \Rightarrow t = \frac{\ln 10}{\ln 2} T_{1/2} \Rightarrow t = 192035 \text{ años}$$

Ésta sería la edad aproximada de la muestra de madera prehistórica.