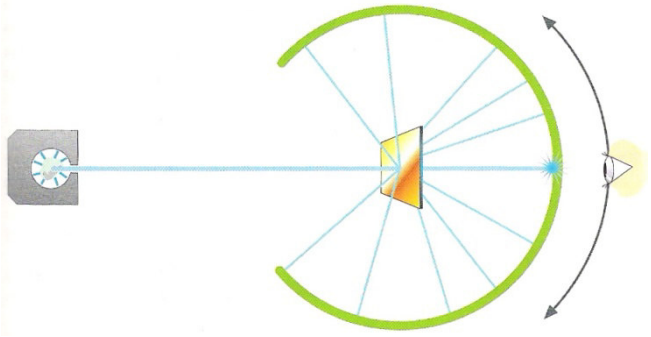
Núcleo atómico

La existencia de los núcleos atómicos se puso de manifiesto con el experimento de Rutherford-Geiger-Marsden:



Se hace incidir un haz de partículas α, procedente de una sal radiactiva, sobre una fina lámina de oro. Tras observar los resultados, se encontró que la mayoría de las partículas conseguían traspasar la lámina sin apenas experimentar desviación, pero también se detectaron partículas α delante de la lámina, que indica que había rebotado en ella.

Este hecho pone de manifiesto que los átomos poseen en su centro una alta densidad de masa y carga, que es la causa que provoca que los proyectiles se desvíen incluso ángulos de 180º (rebotan).

Actualmente se sabe que los núcleos atómicos están formados por dos tipos de partículas llamadas genéricamente **nucleones**, los cuales pueden ser protones ${}_1^1p$ o neutrones ${}_0^1n$.

Cada elemento químico se caracteriza por su número de protones, **número atómico** (z). Además, cada átomo se describe con el **número másico** (A):

${}_z^AX$	X es el símbolo de un elemento Se llama nucleido a cada una de las combinaciones que pueden formarse a partir de z protones y N neutrones.

Los protones y neutrones tienen aproximadamente la misma masa, 1800 veces mayor que la del electrón ${}_{-1}^0e$, por lo que la masa de un átomo viene dada en primera aproximación por su número másico A.

Para el estudio de las masas nucleares se emplea la unidad uma (u), definida por:

$$1\,u = \frac{masa\ {}_6^{12}C}{12} = 931{,}48\,MeV = 1{,}659\cdot 10^{-27}\,kg$$

$$1\,g = 1\,mol\,de\,u = 6{,}023\cdot 10^{23}\,u$$

La masa de un núcleo se podrá calcular conociéndose el número de sus respectivos constituyentes y multiplicándolo por la masa de estos:

$$m_{p^+} = 1{,}007276\,u = 1{,}6726\cdot 10^{-27}\,kg = 938{,}272\,MeV$$

$$m_{{}_0^1n} = 1{,}00866\,u = 1{,}6749\cdot 10^{-27}\,kg = 939{,}566\,MeV$$

$$m_{e^-} = 5{,}5\cdot 10^{-4}\,u = 9{,}11\cdot 10^{-31}\,kg = 0{,}51\,MeV$$

Los núcleos de los átomos poseen volumen, pudiéndose determinar este si suponemos que los núcleos son como pequeñas esferas:

$$r = r_0\cdot A^{\frac{1}{3}} \qquad r_0 = 1{,}2\cdot 10^{-15}\,m = 1{,}2\,fm$$

$$V_N = \frac{4\pi \cdot r_0^3 \cdot A}{3}$$

Lo que significa que el volumen nuclear es proporcional al número de nucleones.
Podemos establecer las siguientes características:

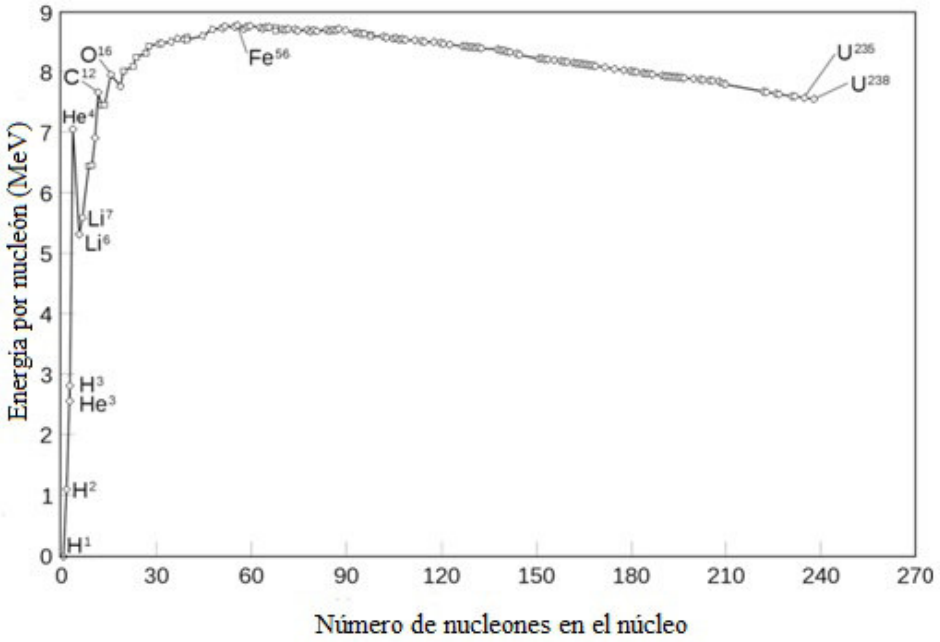
a) El cociente $\frac{V_N}{A}$, es constante para todo núcleo.
b) Los nucleones se sitúan manteniendo distancias medias fijas.
c) La densidad nuclear es elevadísima, unos $1{,}5 \cdot 10^{18}\ kg/m^3$.

Energía de enlace

Llamamos energía de ligadura o de enlace de un núcleo, E, la que se necesita para romperlo en sus respectivos constituyentes. Esta es la que se desprende cuando se ordenan los z protones y los N neutrones de un cierto núcleo en el momento de su formación. La energía de ligadura viene dada según Einstein:

$$E = \left[z \cdot m_{p^+} + (A - z) \cdot m_{1_0 n} - M_N\right] \cdot c^2$$

En donde M_N es la masa experimental del núcleo dada por el espectógrafo de masas.
Pero la magnitud que da una idea más precisa de la energía nuclear es la **energía de enlace por nucleón**, $\frac{E}{A}$, que representamos a continuación:



Si tenemos en cuenta que 1 mol de TNT libera la energía de 10 eV, comprendemos fácilmente lo elevada que resulta la energía de enlace por nucleón, y la pregunta que nos hacemos es ¿cuál es el origen de esta energía tan alta?

Fuerzas nucleares

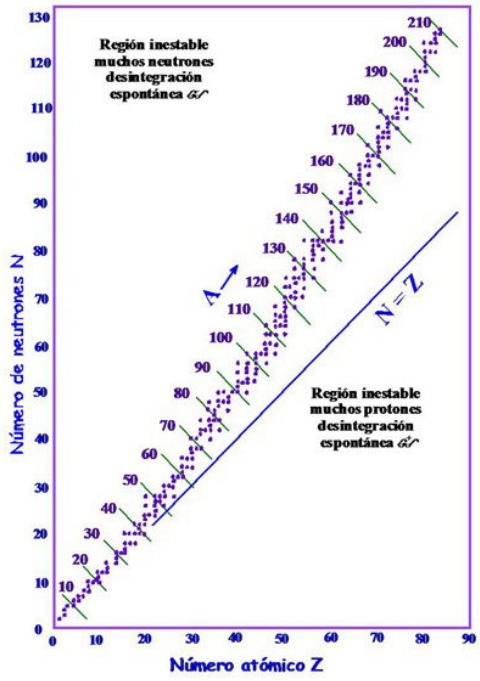
El hecho de que la energía de enlace por nucleón sea tan elevada sugiere que en el interior de los núcleos existen intensas fuerzas, interacción nuclear fuerte, que liga fuertemente a los protones y neutrones entre sí. Estas son de corto alcance, y liga entre sí a los nucleones que se encuentran muy próximos.
Se ha comprobado, también, que es independiente de la carga, no haciendo distinción entre protones y neutrones.
Resumiendo, la interacción nuclear fuerte se caracteriza:

$$Interacción\ fuerte \begin{cases} es\ muy\ intensa \\ es\ de\ corto\ alcance \\ es\ independiente\ de\ la\ carga \end{cases}$$

Esta, la interacción fuerte, fue propuesta por Yukawa en 1935 con el propósito de explicar las intensas fuerzas existentes en el interior del núcleo. En su modelo original, se proponía que la interacción se transmitía entre los nucleones por intercambio de una tercera partícula, llamada pión (π) cuya masa y otras propiedades fueron teóricamente predichas por él.

Estabilidad de los núcleos

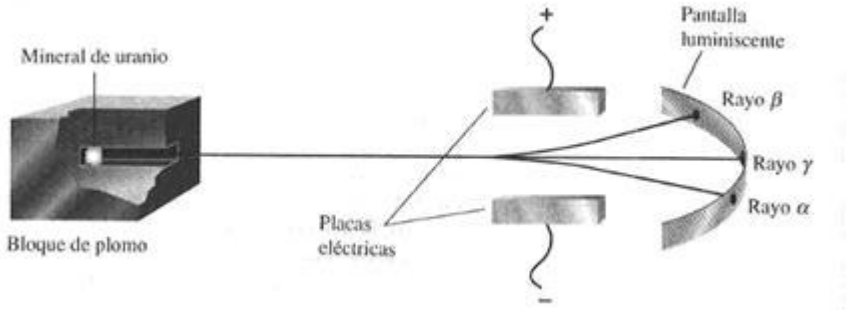
La presencia de neutrones en los núcleos está relacionada con la estabilidad de los mismos. Al hacer la representación gráfica de N frente a z para todos los núcleos atómicos conocidos se obtiene la siguiente curva de estabilidad:



En aquellos núcleos estables comprendidos en la zona de estabilidad aparece un exceso de N frente a z a partir de z > 30. Todo núcleo comprendido fuera de la zona estable decae hacia ella espontáneamente mediante los llamados **procesos radiactivos**.

Radiactividad. Sus leyes

La radiactividad, descubierta por Becquerel en 1896, consiste en la emisión espontánea de radiaciones por parte de un núcleo. Se trata de un fenómeno físico que obedece tan sólo a leyes estadísticas. Las radiaciones emitidas por los nucleidos radiactivos pueden ser de tres tipos, como se pone de manifiesto cuando se les somete a un campo $\vec{E}\, o\, \vec{B}$.



a) **Partículas α (alpha).** Es el proceso de mayor liberación de energía, por lo que sólo se produce en aquellos núcleos con z > 82. La partícula α emitida es la que menos se desvía bajo la acción de los campos $\vec{E}\, o\, \vec{B}$, dado que sale con una energía enorme de hasta 5 MeV. Su emisión viene regida por:

$$ {}^{A}_{z}X \;\rightarrow\; {}^{A-4}_{z-2}Y \;+\; {}^{4}_{2}He $$

Las partículas α son núcleos de helio, y un ejemplo tipo de emisión α es el del radio:

$$ {}^{226}_{88}Ra \;\rightarrow\; {}^{222}_{86}Rn \;+\; {}^{4}_{2}He $$

b) **Partículas β (beta).** Son electrones escapados del núcleo debido a la desintegración β de los neutrones, según el proceso:

$$ {}^{1}_{0}n \;\rightarrow\; {}^{1}_{1}p \;+\; {}^{0}_{-1}e \;+\; \bar{\upsilon}_{e} $$

Para Fermi, el proceso anterior de desintegración del neutrón es un caso típico de ruptura de la interacción débil, introducida por él en 1935 con objeto de explicar dicha desintegración. Poco antes, en 1928, Pauli había predicho la existencia del neutrino $\bar{\upsilon}_{e}$, basándose para ello en la conservación del momento lineal de la reacción nuclear anterior.
Todo proceso de emisión β obedece a la regla:

$$ {}^{A}_{z}X \;\rightarrow\; {}^{A}_{z+1}Y \;+\; {}^{0}_{-1}e $$

Como indica el ejemplo:

$$ {}^{234}_{90}Th \;\rightarrow\; {}^{234}_{91}Pa \;+\; {}^{0}_{-1}e $$

c) **Partículas γ (gamma).** Todo núcleo excitado vuelve a su estado fundamental emitiendo un fotón (que procede del propio núcleo), cuya energía debe cumplir la conocida relación de Planck-Einstein: $E = h \cdot f$
Como ocurre:

$$ {}^{8}_{4}Be* \;\rightarrow\; {}^{234}_{4}Be \;+\; \gamma $$

Donde ${}^{8}_{4}Be*$ es un núcleo excitado de berilio.

Cuando un núcleo radiactivo se desintegra, emite radiación alfa, beta o gamma y se convierte en otro núcleo diferente del original. Las leyes de Soddy o del desplazamiento radiactivo permiten deducir el núcleo formado en los procesos radiactivos:

Conservación número de nucleones. La suma de los superíndices de los núcleos situados a la izquierda de la flecha es igual a la suma de los que se encuentran a la derecha ().

Conservación de la carga eléctrica. La suma de los subíndices de los núcleos situados a la izquierda de la flecha es igual a la suma de los que se encuentran a la derecha.

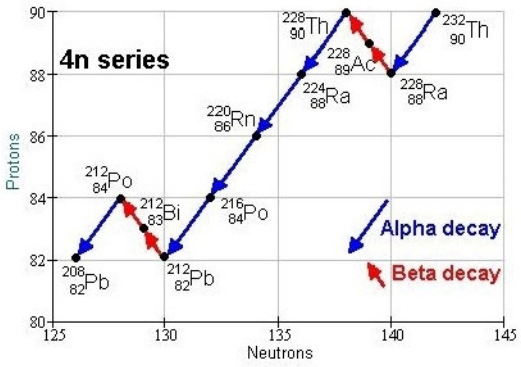
También se **conserva la masa-energía** y la **cantidad de movimiento**.

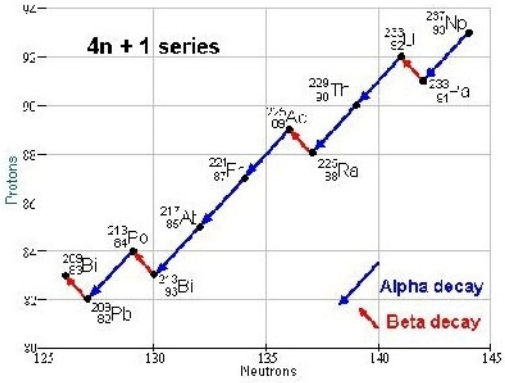
Familias radiactivas

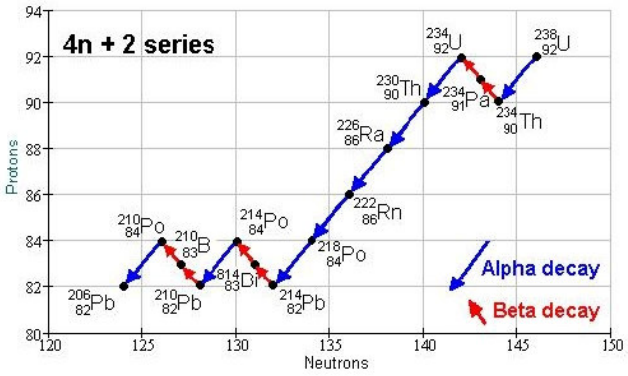
El conjunto de núcleos que se forman partiendo de uno inicial hasta llegar a otro más estable se llama **familia radiactiva.** De forma natural son tres: familia del uranio-238, familia del actinio-227 y familia del torio-232.

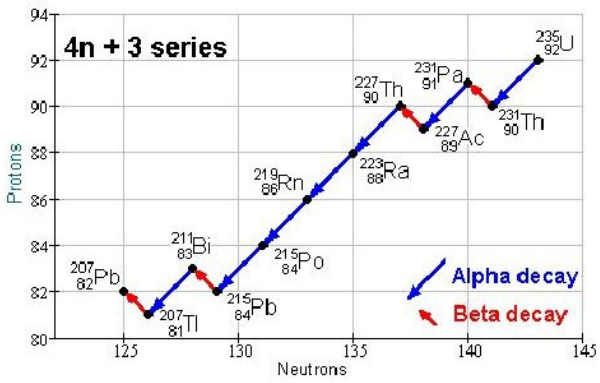
Si un núcleo tiene un número másico que es múltiplo de 4 (4n), todos los núcleos que proceden de él por sucesivas desintegraciones alfa o beta tendrán también números másicos múltiplos de 4. Así, todos los isótopos radiactivos cuyos números másicos sean múltiplos de 4 pertenecen a la misma serie radiactiva: la serie 4n. Se conocen 4 series radiactivas:

Familia	A	Núcleo Inicial	periodo de semidesintegración (Años)	Núcleo Final
Torio	4n	$^{232}_{90}Th$	$1{,}4\cdot10^{10}$	$^{208}_{82}Pb$
Neptunio (Artificial)	4n+1	$^{237}_{93}Np$	$2{,}2\cdot10^{6}$	$^{209}_{83}Bi$
Uranio – Radio	4n+2	$^{238}_{92}U$	$4{,}5\cdot10^{9}$	$^{206}_{82}Pb$
Uranio - Actinio	4n+3	$^{235}_{92}U$	$7{,}2\cdot10^{8}$	$^{207}_{82}Pb$









Ley de la desintegración radiactiva

Las propiedades radiactivas de un núcleo no dependen de las uniones químicas del átomo correspondiente con otro.
El fenómeno radiactivo es aleatorio, no pudiéndose determinar en ningún caso cuál de los núcleos de una muestra radiactiva se desintegrará en un instante dado. No obstante, se puede evaluar el fenómeno radiactivo de una forma globalizada.
Supongamos una muestra radiactiva con N núcleos radiactivos inicialmente. Por la experiencia sabemos que los que se desintegran en un tiempo muy breve, dt, son proporcionales a N y a dt. Se puede escribir:

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

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

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

λ es la llamada **constante radiactiva**, se mide en s^{-1} y es característica de cada sustancia.
N_0 es el número de núcleos que hay en el instante inicial.
dN indica los núcleos que se desintegran en dt.
N es el número de núcleos presentes en la muestra después de un tiempo t.

La expresión anterior nos dice que el número de núcleos radiactivos N presentes en la muestra decrece exponencialmente con el tiempo t.
Se llama **período de semidesintegración**, T, al tiempo que tarda la muestra en reducirse a la mitad:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad ==> \quad \ln 2 = -\lambda \cdot T \quad ==> \quad T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0{,}693}{\lambda}$$

$$\boxed{T \cdot \lambda = 0{,}693}$$

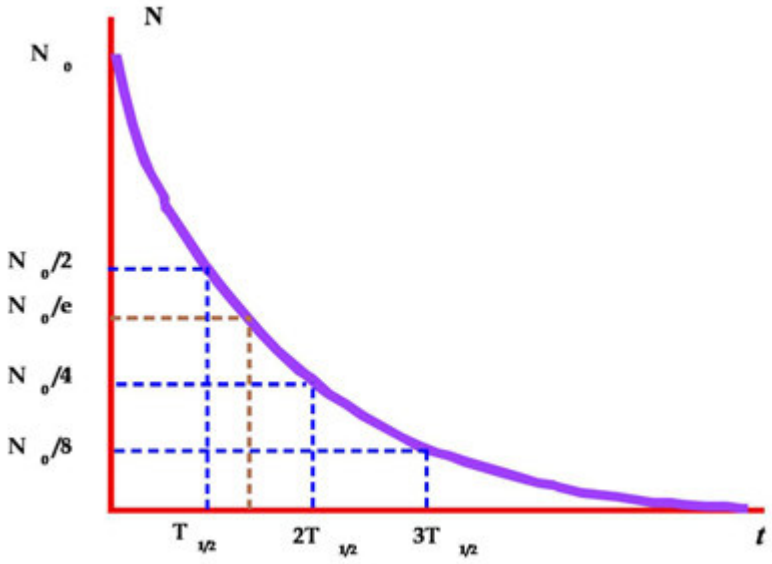
Llamamos **actividad** de una muestra o velocidad de desintegración al cociente:

$$\boxed{Actividad\,(A) = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N}$$

La actividad en el SI se mide en becquerel (Bq), que es una desintegración por segundo.
También se utiliza el curie:

$$1 \text{ curie} = 37 \text{ GBq} = 3{,}7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Es muy interesante observar la curva de desintegración radiactiva:



En esta se aprecia el momento en que la muestra se reduce desde N_0 a $\frac{N_0}{e}$. Este intervalo de tiempo recibe el nombre de vida media (V_m), que es el promedio de la vida de los átomos de una especie radiactiva y equivale a la suma de los tiempos de existencia de cada uno de los átomos, dividido por N_0 :

$$\frac{N_0}{e} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot V_m} \quad ==> \quad e^{-1} = e^{-\lambda \cdot V_m} \quad ==> \quad \boxed{V_m = \frac{1}{\lambda}}$$

Reacciones nucleares

En 1919 tuvo lugar la primera reacción nuclear artificial, cuando Rutherford bombardeó núcleos de nitrógeno con partículas α:

$$^{14}_{7}N \; + \; ^{4}_{2}He \rightarrow \; ^{17}_{8}O \; + \; ^{1}_{1}p$$

$$^{7}_{3}Li \; + \; ^{1}_{1}p \rightarrow \; 2^{4}_{2}He$$

Joliot-Curie obtuvieron:

$$^{27}_{13}Al \; + \; ^{4}_{2}He \rightarrow \; ^{30}_{15}P \; + \; ^{1}_{0}n$$

$$^{30}_{15}P \; \rightarrow \; ^{30}_{14}Si \; + \; ^{0}_{+1}e$$

En esta se obtuvo en 1934 el primer radionucleido artificial, emisor β, pero no emite electrones, sino su antipartícula, el positrón.

En toda reacción nuclear se cumplen los siguientes principios de conservación:
Conservación del número de nucleones. La suma de los números másicos de los reactivos es igual a la suma de los números másicos de los productos.
Conservación de la carga eléctrica. La suma de los números atómicos de los reactivos coincide con la suma de los números atómicos de los productos.

Conservación de la cantidad de movimiento. La cantidad de movimiento total de los reactivos es igual que la de los productos.
Conservación de la masa-energía. La diferencia entre la masa total de los reactivos y la de los productos se transforma en energía según el principio de equivalencia masa-energía:

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

$$\Delta m = \sum m_{reactivos} - \sum m_{productos}$$

Si la diferencia de masas es positiva, la reacción desprende energía (**proceso exotérmico**). Cuando la diferencia de masas resulta negativa, es necesario proporcionar energía para que tenga lugar la reacción (**proceso endotérmico**).
Las reacciones de desintegración alfa, beta y gamma son reacciones nucleares espontáneas.
Por lo general, una reacción nuclear típica se puede representar de la forma:

$$X + a \rightarrow Y + b$$

Donde X es el blanco, a es el proyectil, Y es el producto de la reacción y b es otra partícula.

Fisión nuclear

Los núcleos, como el uranio y el plutonio, situados a la derecha de los más estables, pueden transformarse en núcleos menos pesado y más estables. En este proceso se libera energía, dado que la energía de los núcleos intermedios es menor. Este proceso se conoce como fisión nuclear: reacción nuclear en la que los núcleos pesados se dividen dando lugar a otros más ligeros.
Esta se produce cuando se bombardean núcleos pesados con neutrones:

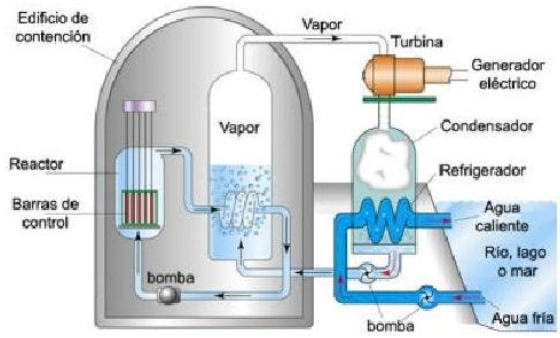
$${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3{}^{1}_{0}n$$

$${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{137}_{52}Te + {}^{97}_{40}Zr + 2{}^{1}_{0}n$$

Que son reacciones que se producen en las centrales nucleares y en las que se llegan a desprender energías del orden de 200 MeV por cada átomo de uranio fisionado.

Los neutrones producidos en la fisión reaccionan con otros núcleos de uranio, de forma que el número de neutrones aumenta de forma exponencial, teniendo lugar una **reacción en cadena**. La energía liberada también aumenta de forma descontrolada. Las bombas nucleares se basan en este hecho.
Si el número de neutrones se controla utilizando un moderador (los absorbe), la energía producida se mantiene constante. Los reactores nucleares funcionan de esa manera.
Veamos como funciona una central nuclear de fisión:

En toda central de producción de energía eléctrica, esta se genera por inducción electromagnética (fenómeno estudiado en el tema de electromagnetismo), haciendo girar el rotor de una dinamo o alternador. La diferencia entre los diferentes tipos de central (térmica, hidroeléctrica, eólica, mareomotriz...) está en cómo se hace girar dicho rotor.



En una central nuclear, se aprovecha la energía desprendida en la fisión de ${}^{235}_{92}U$ o ${}^{239}_{94}Pu$, para calentar agua, llevarla a la ebullición, y hacer que el vapor mueva una turbina, haciendo funcionar el alternador.

En la figura se observa el esquema básico de un tipo de central nuclear (con reactor de agua a presión).
En el núcleo del reactor, las barras de combustible (que contienen entre un 1% y un 4% de óxido de

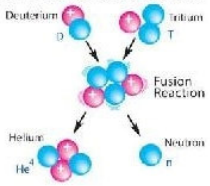
uranio o plutonio), sufren la fisión, generando núcleos más ligeros y desprendiendo neutrones. Estos productos salen a gran velocidad, y son frenados al chocar con las moléculas de la sustancia moderadora que rodea las barras de combustible (agua pesada D_2O, normalmente). Estos choques calientan el agua, y esta energía es la que se aprovecha para generar electricidad. Además, el moderador es necesario para que se produzca la reacción en cadena, ya que los neutrones producidos son demasiado rápidos, y deben frenarse para poder fisionar los núcleos de uranio.

No es el agua del moderador la que entra en ebullición, ya que contiene sustancias radiactivas. La energía obtenida se va transmitiendo de un circuito cerrado de agua a otro (lo que se denomina intercambiador de calor). El vapor producido finalmente mueve la turbina, conectada a un generador de corriente alterna.

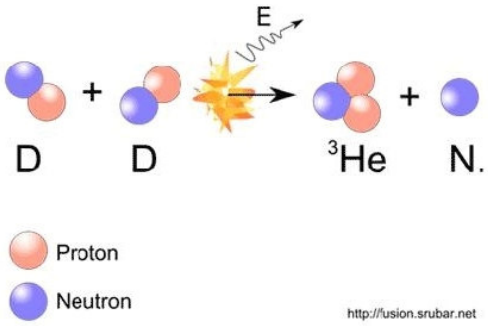
Las barras de control, de cadmio generalmente, son necesarias para mantener la reacción a ritmo adecuado. El Cadmio absorbe los neutrones en exceso, impidiendo que la reacción en cadena se descontrole. Introduciendo o retirando barras se acelera, ralentiza o incluso se detiene la reacción.

Fusión nuclear

Algunos núcleos atómicos pueden liberar gran cantidad de energía si se unen para formar un núcleo más pesado. El proceso se denomina fusión nuclear.



La ***fusión nuclear*** es una reacción en la que dos núcleos ligeros (menos pesados que el Fe) se unen para formar otro más pesado. En el proceso se libera gran cantidad de energía.



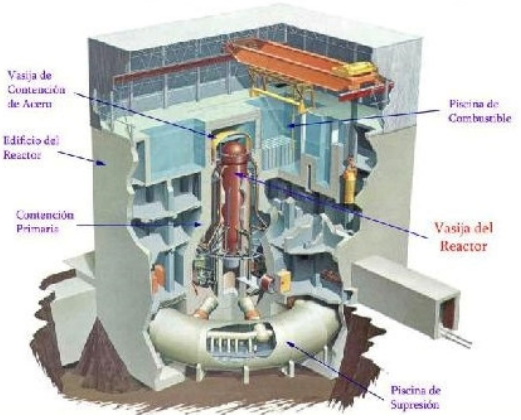
Las reacciones de fusión más comunes son:

$$^1_1H + {}^3_2He \rightarrow {}^4_2He + {}^1_1H$$
$$^2_1H + {}^2_1H \rightarrow {}^4_2He$$
$$^2_1H + {}^3_1H \rightarrow {}^4_2He + {}^1_0n$$

La energía desprendida en estas reacciones es de aprox. 18 MeV, una cantidad menor que la producida en la fisión de un núcleo de Uranio. Pero en un gramo de Hidrógeno se producirá un mayor número de reacciones que en un gramo de Uranio, ya que tenemos mayor cantidad de átomos. En total, la energía obtenida por cada gramo que reacciona es unas 4 veces superior en el caso de la fusión. Además, el combustible es más barato (se encuentra en el agua), prácticamente inagotable, y no tiene residuos perjudiciales ni radiactivos.

Sin embargo, para conseguir que choquen los núcleos de Hidrógeno se necesita que tengan una gran energía cinética. Esto hace que el hidrógeno tenga que estar a gran temperatura (aprox. cien millones de ºC, en un estado de la materia conocido como plasma). Ahí radica la dificultad. Es muy complicado mantener los núcleos a esa temperatura el tiempo necesario para que se produzca la fusión. Ahora bien, estas reacciones termonucleares se dan espontáneamente en el centro de las estrellas, ya que allí sí se consigue esa temperatura.

Centrales nucleares de Fusión: Aunque están todavía en fase experimental, los diferentes tipos que existen (tokamacs, stellarators, JET) consisten básicamente en este procedimiento. El combustible (hidrógeno) es calentado hasta estado de plasma (los átomos se desprenden de sus electrones, quedando con carga +), y es mantenido en movimiento mediante un campo magnético. Mediante un láser u otro procedimiento, se consigue la energía necesaria para que se produzca la fusión. Hasta ahora no se ha conseguido que la reacción se automantenga.



Partículas subatómicas

Como ya sabemos, el átomo se descompone en partículas más simples, o partículas subatómicas: los protones, los neutrones y los electrones. Además existen otras partículas subatómicas, de vida muy corta, procedentes de los choques que se producen en los aceleradores de partículas. La mayoría de estas están formadas por otras más simples denominadas partículas elementales, que no se pueden descomponer.

Actualmente se conocen centenares de partículas subatómicas, y todas ellas se clasifican en dos grupos, dependiendo de si están sometidas a interacción nuclear fuerte o no.

- ***Quarks:*** Sufren la interacción nuclear fuerte y son los constituyentes de protones y neutrones (formados por 3 quarks cada uno). Existen 6 tipos de quarks cuyas características son:

Quark	Símbolo	Carga (e)	AntiQuark	Símbolo	Carga (e)	Espín	Masa GeV
Up	u	2/3	AntiUp	ū	-2/3	1/2	0,029 – 0,037
Down	d	-1/3	AntiDown	d̄	1/3	-1/2	0,040-0,081
Strange	s	-1/3	AntiStrange	s̄	1/3	-1/2	0,103-0,128
Charm	c	2/3	AntiCharm	c̄	-2/3	1/2	1,28-1,79
Bottom	b	-1/3	AntiBottom	b̄	1/3	1/2	4,16-5,26
Top	t	2/3	AntiTop	t̄	2/3	1/2	170,1 – 180,1

  - Son partículas con espín semientero.
  - Interactúan con las cuatro fuerzas fundamentales.
  - Sólo se encuentran en grupos (Mesones o Bariones), ligados por interacción fuerte.
  - Para cada uno de ellos existe su partícula de antimateria (antiquark).

- ***Leptones:*** No sufren la interacción nuclear fuerte. Los electrones y neutrinos pertenecen a esta clase. Se conocen 6 tipos de leptones cuyas características son:

Leptón	Símbolo	Carga (e)	Antileptón	Símbolo	Carga (e)	Masa GeV
Electrón	e^-	-1	Positrón	e^+	1	0,000548
Neutrino Electrónico	ν_e	0	Antineutrino Electrónico	$\bar{\nu}_e$	0	$< 0{,}00022 \times 10^{-6}$
Muón	μ^-	-1	Antimuón	μ^+	1	0,105
Neutrino Muónico	ν_μ	0	Antineutrino Muónico	$\bar{\nu}_\mu$	0	< 0,0017
Tau	τ^-	-1	AntiTau	τ^+	1	1,776
Neutrino Tauónico	ν_τ	0	Antineutrino Tauónico	$\bar{\nu}_\tau$	0	< 0,0155

  - Son partículas de espín semientero 1/2.
  - No se ven afectados por la interacción fuerte.
  - Pueden vivir de manera aislada.
  - Para cada uno de ellos existe su partícula de antimateria, es decir su antileptón.
  - Las masas de los neutrinos no se han determinado con exactitud, sólo se conocen los límites superiores.

Los quarks y leptones se pueden dividir en tres familias o generaciones. Una generación se compone de un quark y un leptón de cada tipo de carga y, además, la generación 2 es más pesada que la uno y la generación 3 es más pesada que la uno y dos.

Toda la materia ordinaria o conocida está constituida por quarks y leptones de la primera generación, mientras que la materia desconocida se compone de la generación 2 y 3.

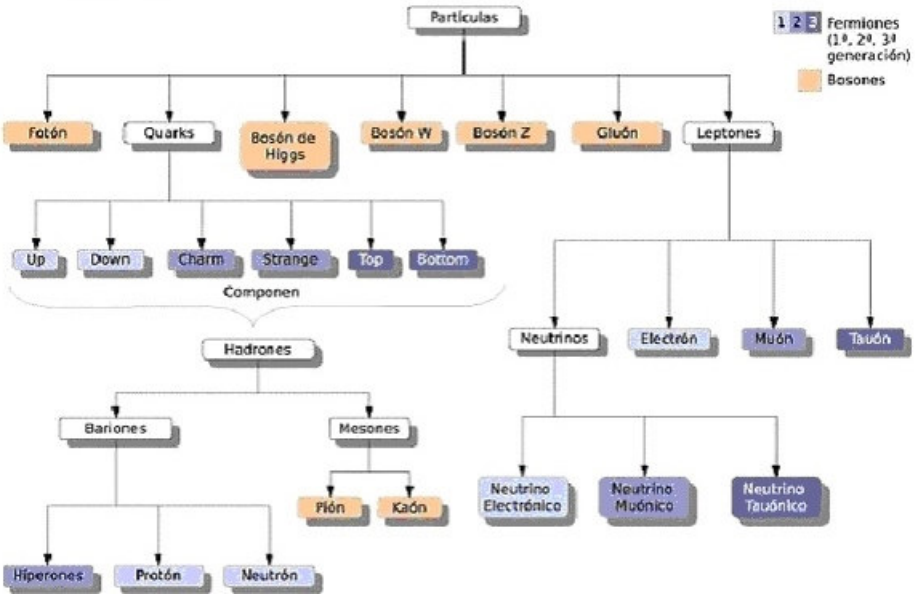
	Primera Generación	Segunda generación	Tercera Generación
QUARKS	u (up-arriba)	c (charm-encanto)	t (top-cima)
	d (down-abajo)	s (strange-extraño)	b (botton-fondo)
LEPTONES	e (Electrón)	μ (Muón)	τ (taón)
	ν_e (Neutrino electrónico)	ν_μ (Neutrino muónico)	ν_τ (Neutrino tauónico)

Cada partícula tiene asociada una antipartícula, esto es, otra partícula de igual masa y espín que la primera pero con carga y momento angular opuestos.
Cuando una partícula choca con su antipartícula, ambas se aniquilan, ***aniquilación de pares***, y la masa total se transforma en energía. Existe también el fenómeno inverso; la ***producción de pares***. Por ejemplo,

cuando un fotón de alta energía (1 MeV) choca con un núcleo, el fotón desaparece y se materializa un par electrón-positrón.

La antipartícula de electrón (e^-) es el positrón (e^+), la antipartícula del protón (p) es el antiprotón ($\bar{p}$) y la del neutrón (n) el antineutrón ($\bar{n}$).

En resumen:



Fuerza Gravitatoria	**Fuerza Electromagnética**
Se ejerce entre dos partículas cualesquiera que tengan masa: • Siempre es atractiva • Es una interacción débil, solo es apreciable cuando uno de los cuerpos tiene gran masa, como un planeta o un astro.	Se ejerce entre dos partículas con carga eléctrica: • Puede ser atractiva o repulsiva • Es de mayor intensidad que la gravitatoria y a distancias mayores de 10^{-15} m puede superar a la nuclear fuerte.
Fuerza Nuclear Fuerte	**Fuerza Nuclear Débil**
Es la responsable de la cohesión del núcleo: mantiene unidos a los nucleones. • Es una interacción muy intensa a distancias nucleares, superior al resto de las interacciones. • Es de corto alcance: prácticamente nula a distancias mayores de 10^{-15} m.	Es la responsable de la desintegración β de algunos núcleos inestables. • Es más débil que la nuclear fuerte y la electromagnética, pero a distancias nucleares supera a la gravitatoria. • Es de corto alcance; prácticamente nula a distancias mayores de 10^{-17} m.