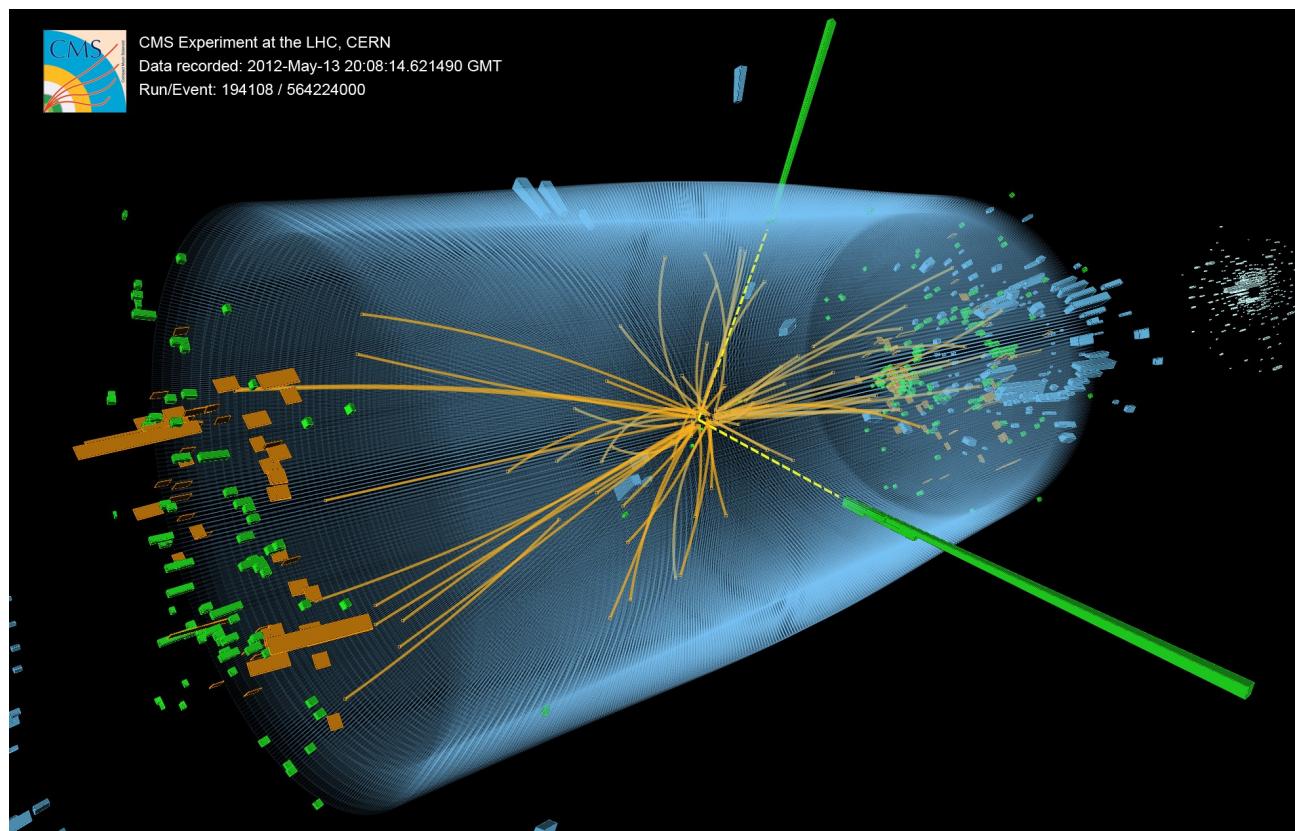


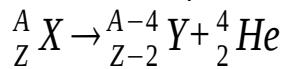
Tema 09: Física nuclear y de partículas.



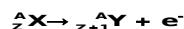
0901. Radiactividad natural.

Fue descubierta por Henry Becquerel de forma accidental al estudiar la fluorescencia. Marie Curie fue la persona que le dio nombre y que más trabajo en el estudio de este fenómeno. Consiste en la ruptura espontánea de un núcleo inestable. Esta ruptura supone la emisión de una o varias de las siguientes radiaciones:

- ◆ **Radiación α :** está compuesta por núcleos de helio, y por lo tanto debe hablarse de partículas α . Es característica de los núcleos pesados.



- ◆ **Radiación β :** está compuesta por electrones y se habla de partículas β . Es característica de núcleos muy ricos en neutrones.

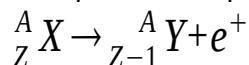


Como no hay electrones en el núcleo hay que suponer que lo que ocurre es que un neutrón se desintegra en un protón y un electrón:

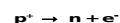


Al estudiar este tipo de desintegración se observó que no se cumplía la conservación de la cantidad de movimiento y de la energía; ello llevó al descubrimiento de un nuevo tipo de partículas sin masa ni carga: neutrinos y antineutrinos.

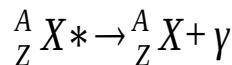
En los núcleos muy ricos en protones se produce un proceso inverso: la desintegración β^+ :



La partícula e^+ se llama positrón y es idéntica al electrón pero con carga positiva (a este tipo de partículas se les llama antipartículas). El proceso que tiene lugar en el núcleo es:



- **Radiación γ :** son ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia (fotones de muy alta energía). Esta emisión supone la vuelta al estado fundamental de un núcleo, que previamente ha sido excitado.



Suele acompañar a las emisiones α y β . La energía de la radiación γ emitida es igual a la diferencia de energía entre los estados inicial y final. Por tanto, cada núcleo emite rayos γ de determinadas frecuencias.

A las ecuaciones anteriores (principalmente a las de las emisiones α y β) se las conoce como **leyes de Soddy** de la desintegración radiactiva.

La radiactividad es un fenómeno que se produce en los núcleos y por tanto, independiente del estado físico y combinación química a la que pertenezcan esos núcleos.

La desintegración radiactiva es un proceso aleatorio gobernado por leyes estadísticas. El número de desintegraciones que se producen por unidad de tiempo debe ser proporcional al número de núcleos existentes:

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

N = número de núcleos existentes en un instante t .

${}^b\lambda$ = constante de desintegración radiactiva, característica de cada isótopo radiactivo.

Integrando la expresión anterior obtenemos la ley de la emisión o desintegración radiactiva:

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N \Rightarrow \frac{dN}{N} = -\lambda \cdot t \Rightarrow \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda \cdot t \Rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda \cdot t \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \end{aligned}$$

N_0 = número de núcleos sin desintegrar en el instante inicial.

El número de desintegraciones de una sustancia por unidad de tiempo recibe el nombre de actividad (A) o velocidad de desintegración:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N$$

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

$A_0 = {}^tN_0$ = actividad en el instante inicial.

Su unidad en el SI es el Bequerel (Bq), que es una desintegración por segundo. También se usa el Curie (Ci). 1 Ci = $3,7 \cdot 10^7$ Bq.

La **constante de desintegración radiactiva** ^b es característica de cada sustancia, se mide en unidades inversas de tiempo y mide la probabilidad de que un núcleo se desintegre.

Se llama **periodo de semidesintegración (T)** al tiempo necesario para que la cantidad de núcleos presentes se reduzca a la mitad:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \Rightarrow T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Se llama **vida media (τ)** al tiempo medio necesario para que se produzca una desintegración

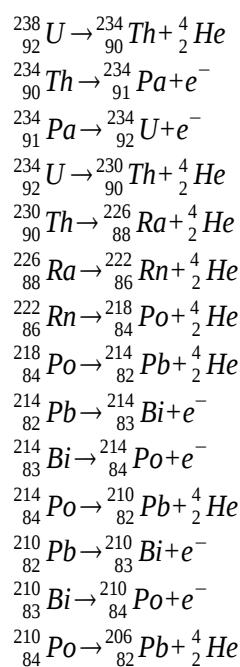
$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Ejemplos:

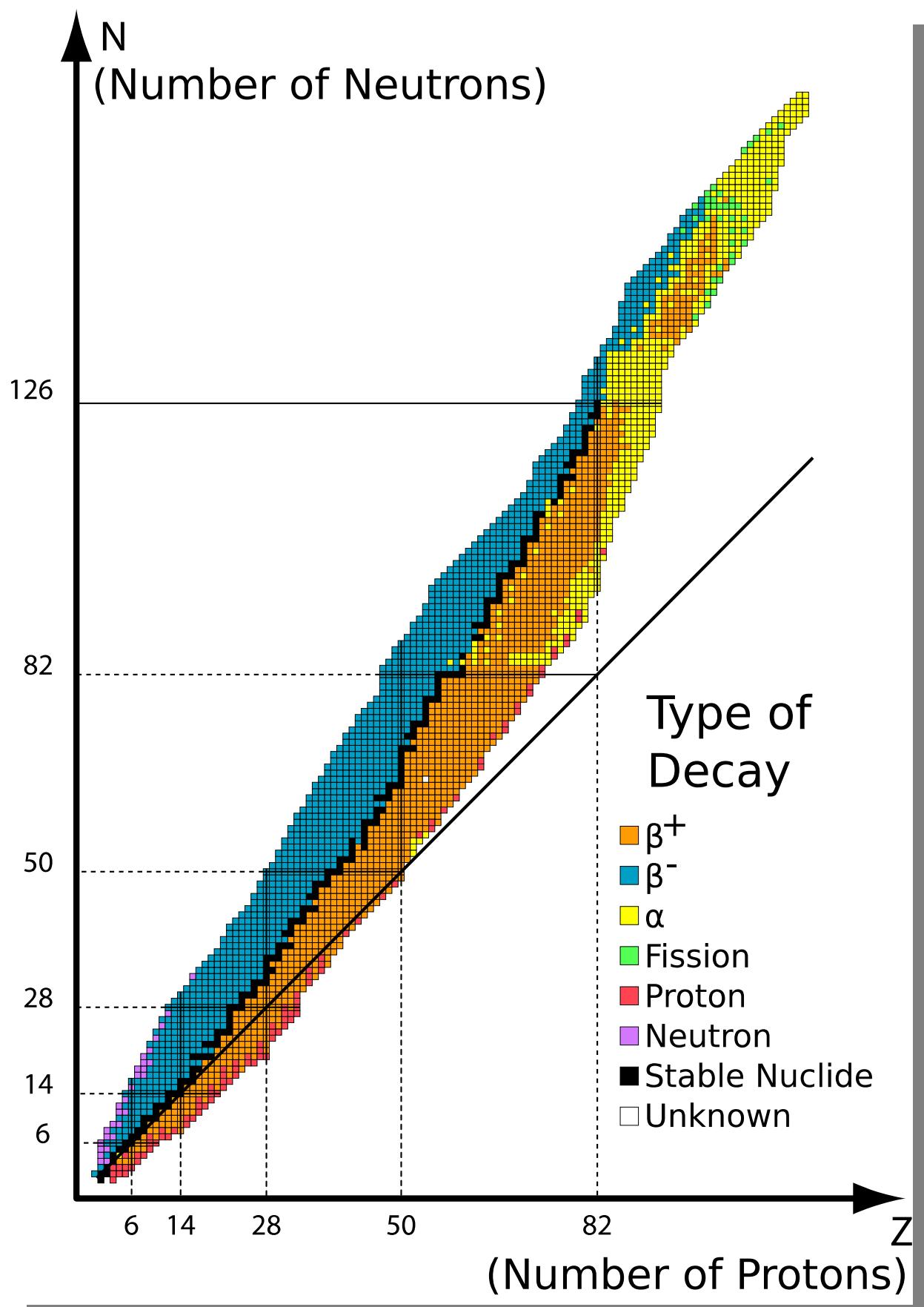
Núcleo	U-238	U-235	Ra-226	Po-210	I-131	Ra-224
T	$4,5 \cdot 10^9$ a.	$7,2 \cdot 10^8$ a.	1.622 a.	138 d.	8 d.	3,64 d.

El poder de penetración de las emisiones radiactivas en la materia es variable. Las partículas α pierden su energía al interaccionar con los electrones del medio provocando una fuerte ionización, recorren algunos cm en el aire y pueden ser detenidas por una hoja de papel. Las partículas β son más penetrantes, pudiendo recorrer varios metros en el aire y produciendo ionización. Los rayos γ son mucho más penetrantes y pierden su energía por efecto fotoeléctrico, efecto Compton o creación de pares electrón-positrón.

Una serie radiactiva es un conjunto de núclidos radiactivos que derivan del mismo núclido inicial y, por desintegración en cascada, conducen a un mismo núclido estable. Se conocen tres series radiactivas naturales y otra artificial. Ejemplo: serie radiactiva natural del uranio-radio.



0902. El núcleo atómico.



Los átomos están formados por un núcleo donde se localizan los protones y los neutrones, rodeado de una corteza en la que se disponen los electrones. La masa de los diversos núcleos es múltiplo de la del hidrógeno (aproximadamente) y a ese múltiplo se le llama **número másico (A)** y coincide con la suma de los números de protones y de neutrones. El número de protones se llama **número atómico (Z)**. El número de neutrones $N = A - Z$. A protones y neutrones se les llama **nucleones**. **Elemento químico** es un conjunto de átomos con el mismo número atómico y número másico. Se llama **núclido** a un conjunto de átomos con el mismo número atómico y el mismo número másico. Se representan por ${}^A_Z X$. Los núclidos de un mismo elemento químico se llaman **isótopos**. En general, los elementos químicos son el resultado de diferentes núclidos, lo que hace que la masa atómica de los elementos no sea un número entero.

Para representar la masa de núcleos y átomos se utiliza la **unidad de masa atómica** definida como la doceava parte de la masa del isótopo 12 del carbono. Se simboliza por uma. Su equivalencia con el kilogramo es:

$$1 \text{ uma} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Al medir con precisión la masa de un núcleo cualquiera, resulta siempre que es inferior a la suma de las masas de los nucleones que lo forman. Este defecto de masa puede calcularse mediante la expresión:

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

siendo m_x la masa del núcleo considerado. Dicho defecto de masa equivale a una energía $E = \Delta m \cdot c^2$ que coincide con la energía que debemos aportar al núcleo para separarlo en los nucleones que lo forman y se llama **energía de enlace**. La energía de enlace es un tipo de energía potencial y por tanto está asociada a un campo conservativo. Se trata del campo asociado a la **fuerza nuclear fuerte** que es una fuerza atractiva muy intensa para distancias muy pequeñas y que se hace nula para distancias mayores que un núcleo atómico.

0903. Reacciones nucleares.

Otros procesos radiactivos no se producen o se producen de forma muy esporádica en la naturaleza. A ellos nos referimos cuando hablamos de radiactividad artificial.

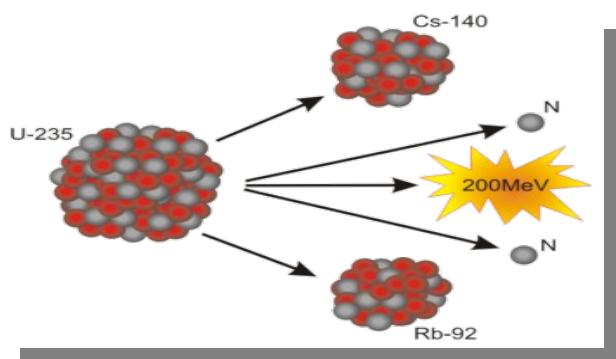
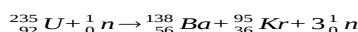
Las reacciones nucleares se producen al bombardear un núcleo, al que se denomina blanco, con otro núcleo pequeño o partícula, que se llama proyectil. La primera reacción nuclear artificial se consiguió al bombardear aluminio con partículas α :



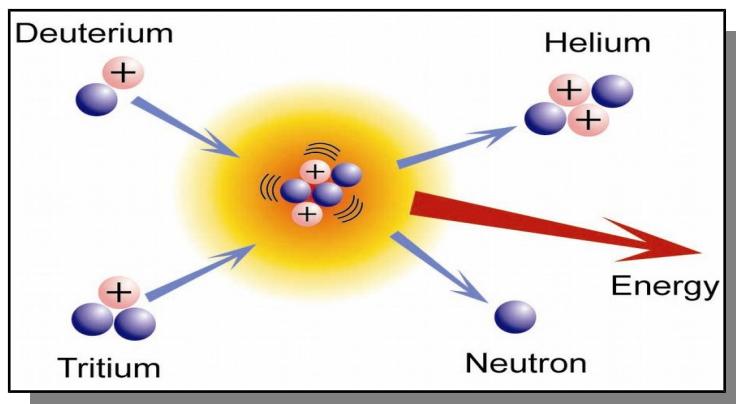
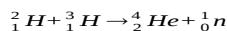
En las reacciones nucleares que no incluyen desintegraciones β se conserva el número de protones y de neutrones.

Especialmente importantes son las reacciones nucleares de fusión y fisión nuclear.

◆ **Fisión nuclear:** consiste en la división de un núcleo pesado en dos fragmentos de masas similares. Es muy rara, aunque existe, en la naturaleza. Se provoca artificialmente bombardeando los núcleos que se quiere fisionar con neutrones. Además en el proceso de fisión se producen más neutrones que pueden dar lugar a una reacción en cadena. Esta reacción puede ser explosiva (bomba atómica) o gradual si se controlan los neutrones sobrantes.



◆ **Fusión nuclear:** consiste en la obtención de un núcleo más pesado a partir de otros dos más ligeros que chocan. Para que se produzca debe vencerse la repulsión entre los núcleos y ello sólo es posible en los elementos más ligeros. Este tipo de reacciones se produce continuamente en todas las estrellas permitiéndoles emitir gran cantidad de energía al espacio y fabricar elementos más pesados que hidrógeno y helio.



0904. Partículas y fuerzas fundamentales.

La materia ordinaria está compuesta por tres tipos de partículas fundamentales, es decir que no pueden ser descompuestas en otras más simples. Estas partículas son el protón, el electrón y el neutrón.

Con el descubrimiento de la radiactividad se obtuvo una nueva vía para el estudio de las partículas fundamentales. Podían obtenerse partículas que, tras ser aceleradas en aceleradores de partículas, tienen la suficiente energía cinética como para romper otros núcleos. Con ello se mejoró el conocimiento del núcleo atómico y se descubrieron otras muchas partículas que parecían ser fundamentales.

En un momento dado se conocían más partículas elementales que elementos químicos. Esta abundancia hizo pensar que tales partículas no eran todas realmente fundamentales.

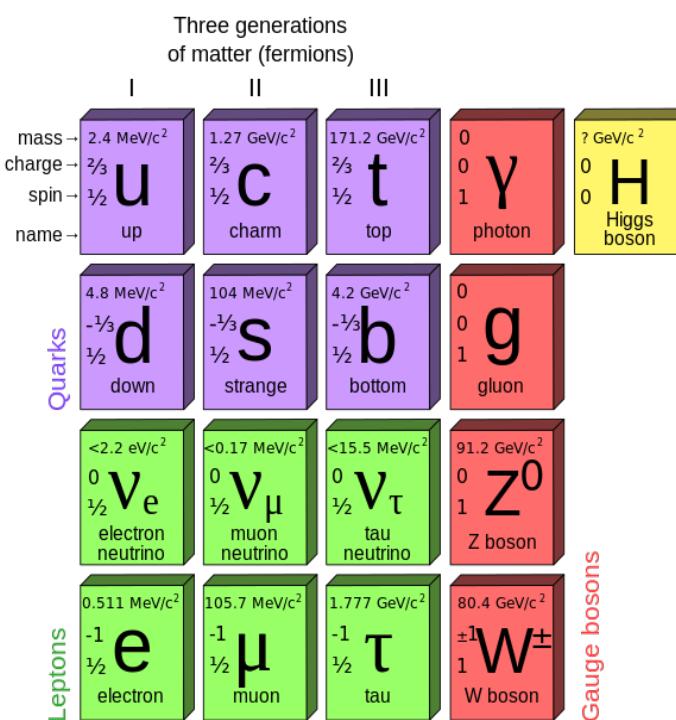
Actualmente se considera que hay dos grandes grupos de partículas fundamentales.

- **Los leptones:** Son partículas sujetas a la interacción nuclear débil. Existen seis leptones: el electrón (e^-), el neutrino electrónico (ν_e), el muón (μ^-), el neutrino muónico (ν_μ), el tauón (τ^-) y el neutrino tauónico (ν_τ). El muón y el tauón son partículas cargadas negativamente y que sólo se diferencian del electrón en que son mucho más masivas. Los neutrinos son partículas neutras estables. Su masa en reposo es cero o muy cercana, pueden atravesar grandes cantidades de materia sin ser desviados. Los leptones forman tres parejas cada una de ellas formada por un lepton cargado y su correspondiente neutrino.
- **Los quarks:** También son seis: up (u), down (d), strange (s), charm (c), beauty (bottom) (b) y top (t). A su vez cada quark puede existir en tres variedades distintas que se denominan colores (rojo, verde y azul). Los quarks tienen carga eléctrica fraccionaria respecto a la carga del electrón (algunos 2/3 y otros 1/3). El protón está constituido por la combinación (uud) y el neutrón (udd).

Además, cada una de estas doce partículas tiene su **antipartícula** correspondiente. Por ejemplo, la antipartícula del electrón se llama positrón (e^+). Cuando una partícula y su antipartícula se encuentran se aniquilan entre sí, la masa que se pierde se convierte en energía (rayos γ) y también puede ocurrir el proceso inverso, la creación de un par partícula-antipartícula a partir de una concentración de energía.

Elementary Particles

	Types	Generations	Antiparticle	Colors	Total
Quarks	2	3	Pair	3	36
Leptons	2	3	Pair	None	12
Gluons	1	1	Own	8	8
W	1	1	Pair	None	2
Z	1	1	Own	None	1
Photon	1	1	Own	None	1
Higgs	1	1	Own	None	1
Total				61	



También hay partículas que son transmisoras de las distintas interacciones fundamentales. Hoy día se reconocen cuatro interacciones fundamentales, que con sus partículas transmisoras son:

- ◆ **Nuclear fuerte:** es la más intensa pero de muy corto alcance (10^{-15} m). Mantiene unidas las partículas que componen el núcleo atómico y los quarks dentro de ellas. Es transmitida por unas partículas llamadas gluones.
- ◆ **Electromagnética:** Es unas cien veces menos intensa que la fuerza nuclear fuerte. Actúa sobre partículas cargadas y puede ser atractiva o repulsiva. Es responsable de que los átomos, las moléculas y la materia en general permanezcan unidos. Se transmite mediante los fotones.
- ◆ **Nuclear débil:** Tiene un radio de acción muy corto (10^{-17} m). Su intensidad es unas 10^{-13} veces la de la interacción fuerte. Aparece en la desintegración beta de los núcleos radiactivos y sólo actúa sobre los leptones. Se transmite por las partículas W y Z.
- ◆ **Gravitatoria:** Es la más conocida y la más débil de todas. Su intensidad es unas 10^{-39} veces la de la nuclear fuerte. Es universal y de atracción entre todas las masas. Es responsable de la estructura general del universo. Se ha sugerido que puede ser transmitida por unas partículas hipotéticas que se han llamado gravitones.

Interacción	Teoría descriptiva	Mediadores	Fuerza relativa	Alcance (m)
Fuerte	Cromodinámica cuántica (QCD)	gluones	10^{38}	10^{-15}
Electromagnética	Electrodinámica cuántica (QED)	fotones	10^{36}	∞
Débil	Teoría electrodébil	bosones W y Z	10^{25}	10^{-18}
Gravitatoria	Gravedad cuántica	gravitones (hipotéticos)	1	∞