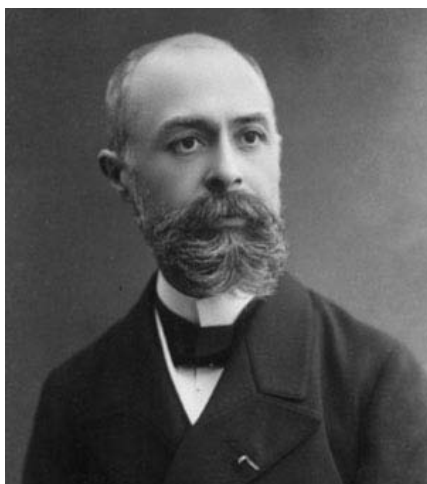


Unidad 2

Química nuclear

La química nuclear estudia las reacciones que implican cambios en el núcleo atómico. Esta rama de la química comenzó con el descubrimiento de la radiactividad natural por Antoine Becquerel y creció con las investigaciones posteriores de Pierre y Marie Curie y otros científicos.



Antoine Becquerel



Esposos Curie

En 1896, Becquerel descubrió que algunos minerales tenían propiedades un tanto extrañas: eran capaces de ionizar el aire que los rodeaba, podían impresionar placas fotográficas, producían fenómenos de fluorescencia y fosforescencia y eran capaces de emitir energía calorífica. Estos fenómenos recibieron genéricamente el nombre de **radiactividad**.

María Sklodowska, conocida como Marie Curie y su esposo Pierre Curie continuaron los estudios de Becquerel: analizando la pechblenda, mineral con propiedades radiactivas, descubrieron que además del uranio que contenían, existían otros elementos responsables de la gran emisión radiactiva del material; tras denodados esfuerzos, en 1898 consiguieron aislar dos nuevos elementos componentes de este mineral que recibieron los nombres de radio y polonio.

Por sus trabajos sobre la radiactividad ambos recibieron el premio Nobel de Física junto con Becquerel en 1903 y Marie Curie el de Química en 1913 por el descubrimiento de los elementos antes citados.

Número atómico, Número de masa e isótopos:

Todos los átomos se pueden identificar por el número de protones y neutrones que contienen. El **número atómico (Z)** es el número de protones en el núcleo de un átomo de un elemento. En un átomo neutro, el número de protones es igual al número de electrones, de manera que Z también indica el número de electrones presentes en un átomo.

La identidad química de un elemento (y que le da su ubicación en la tabla periódica) queda determinada por su número atómico (Z). Por ejemplo, el Z del nitrógeno es 7. Esto significa que cada átomo neutro de nitrógeno tiene 7 protones y 7 electrones. O bien, visto de otra forma, que cada átomo en el universo que contenga 7 protones se llama “nitrógeno”.

El **número de masa (A)** es el número total de protones y neutrones presentes en el núcleo de un átomo de un elemento. Con excepción de la forma más común del hidrógeno (que tiene 1 protón y no tiene neutrones), todos los núcleos atómicos contienen tanto protones como neutrones. Por lo tanto:

- Número de masa (A) = Número de protones ó numero atómico (Z) + Número de neutrones (N)
- $A = Z + N$
- Se deduce entonces que $N = A - Z$

A la suma de protones más neutrones también se la suelen denominar “nucleones “ya que, como veremos, pueden interconvertirse.

No todos los átomos de un elemento determinado tienen la misma masa. La mayoría de los elementos tiene dos ó más **isótopos**, átomos que tienen el mismo número atómico (Z) pero diferente número de masa (A), es decir, difieren en la cantidad de neutrones presentes en el núcleo. Para representarlos se coloca a la izquierda del símbolo del elemento el número másico (A) como superíndice y el número atómico (Z) como subíndice. Ej ${}^A_Z X$

Por ejemplo, existen tres isótopos para el hidrógeno (todos ellos, por ser átomos de hidrógeno, tienen Z = 1)

- ✓ Uno de ellos que se conoce como “hidrógeno”, tiene un protón y no tiene neutrones. ${}^1\text{H}$ (También se lo conoce como “protio”) Es el más abundante en la naturaleza.
- ✓ El deuterio contiene un protón y un neutrón: ${}^2\text{H}$
- ✓ El tritio contiene un protón y dos neutrones: ${}^3\text{H}$

El uranio (Z=92) también presenta isótopos diferentes.

Por ejemplo:

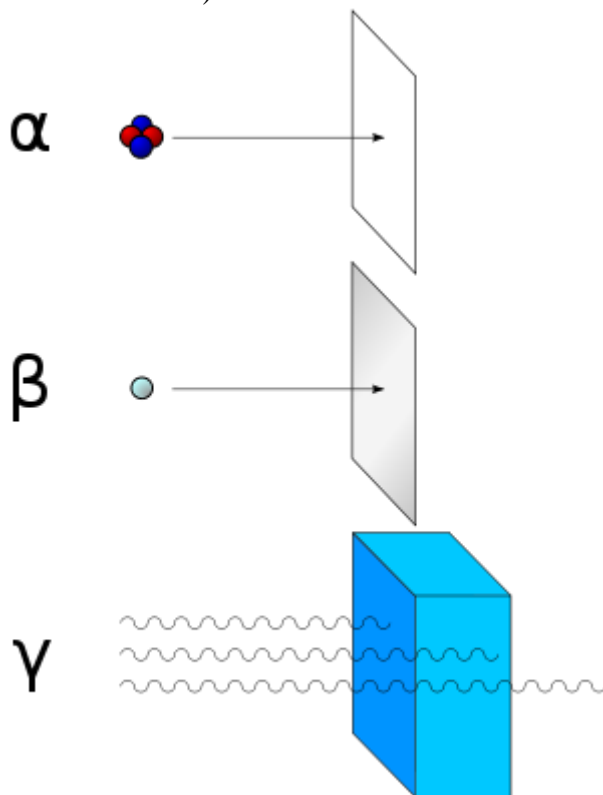
- ${}^{235}\text{U}$ Se usa en reactores nucleares y bombas atómicas (92 protones, 92 electrones, 143 neutrones).
- ${}^{238}\text{U}$ Carece de las propiedades necesarias para tales aplicaciones. (92 protones, 92 electrones, 146 neutrones).

Radiactividad natural: Decaimiento radiactivo

La radiactividad sólo depende de la estructura interna (la estabilidad nuclear) de ciertos átomos de algunos elementos.

Las radiaciones emitidas por estos átomos inestables se pueden clasificar en cuatro tipos:

- Rayos α : $+ 3.10 \times 10^{-19}$ coul; 9.1×10^{-24} g. Es decir son cationes He^{2+} .
- Rayos β^- : $- 1.6 \times 10^{-19}$ coul; 9.1×10^{-28} g. Son electrones semejantes a los rayos catódicos.
- Rayos β^+ : $+ 1.6 \times 10^{-19}$ coul; 9.1×10^{-28} g. Son los positrones.
- Rayos γ : Son radiaciones electromagnéticas semejantes a los Rayos X (sin carga ni masa).

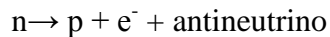


Las partículas alfa (núcleos de helio) se detienen al interponer una hoja de papel. Las partículas beta (electrones y positrones) no son capaces de atravesar una capa de aluminio. Sin embargo, los rayos gamma (fotones de alta energía) necesitan una barrera mucho más gruesa, pudiendo los más energéticos atravesar el plomo.

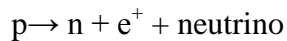
1. **Radiación alfa**: Son flujos de partículas cargadas positivamente compuestas por dos neutrones y dos protones (núcleos de helio). Son desviadas por campos eléctricos y magnéticos. Son poco penetrantes aunque muy ionizantes. Son muy energéticos.

2. Radiación beta:

- **Beta negativa:** Se trata de electrones que provienen del núcleo atómico por la transformación de un neutrón en un protón y un electrón dotado de gran velocidad.



- **Beta positivas ó positrones:** Proviene de la desintegración de un protón.



Son flujos de electrones (beta negativas) o positrones (beta positivas) resultantes de la desintegración de los neutrones o protones del núcleo cuando este se encuentra en un estado excitado. Es desviada por campos magnéticos. Es más penetrante aunque su poder de ionización no es tan elevado como el de las partículas alfa.

Radiación gamma: Son **ondas electromagnéticas**. Es el tipo más penetrante de radiación. Al ser ondas electromagnéticas de longitud de onda corta, tienen mayor penetración y se necesitan capas muy gruesas de plomo u hormigón para detenerlas.

Las leyes descriptas por Soddy y Fajans nos indican las reglas generales que siguen los procesos de emisión radiactiva:

- Cuando un átomo radiactivo emite una partícula alfa, la masa del átomo (A) resultante disminuye en 4 unidades y el número atómico (Z) en 2.

Es decir, si un átomo emite una partícula alfa, se transforma en otro de número másico cuatro unidades menor y que está situado dos lugares antes en la Tabla periódica.

- Cuando un átomo radiactivo emite una partícula beta negativa, su número atómico (Z) aumenta en una unidad y la masa atómica (A) se mantiene constante.

Es decir, si un átomo emite una partícula beta negativa se transforma en otro de igual número másico (isóbaro) pero que está situado en el lugar siguiente en la tabla periódica.

- Cuando un átomo radiactivo emite una partícula beta positiva, su número atómico (Z) disminuye en una unidad y la masa atómica (A) se mantiene constante.

Es decir, si un átomo emite una partícula beta positiva se transforma en otro de igual número másico (isóbaro) pero que está situado en el lugar anterior en la tabla periódica.

- Cuando un núcleo excitado emite radiación gamma no varía ni su masa ni su número atómico, solo pierde una cantidad de energía $h\nu$ (donde "h" es la constante de Planck y "v" es la frecuencia de la radiación emitida). Es decir, no varía ni su A ni su Z, sólo lo hace su contenido energético.

Las tres primeras leyes indican que cuando un átomo emite una radiación alfa o beta se transforma en otro átomo de un elemento diferente. Este nuevo elemento puede ser radiactivo, transformándose en otro, y así sucesivamente, dando lugar a las llamadas series radiactivas

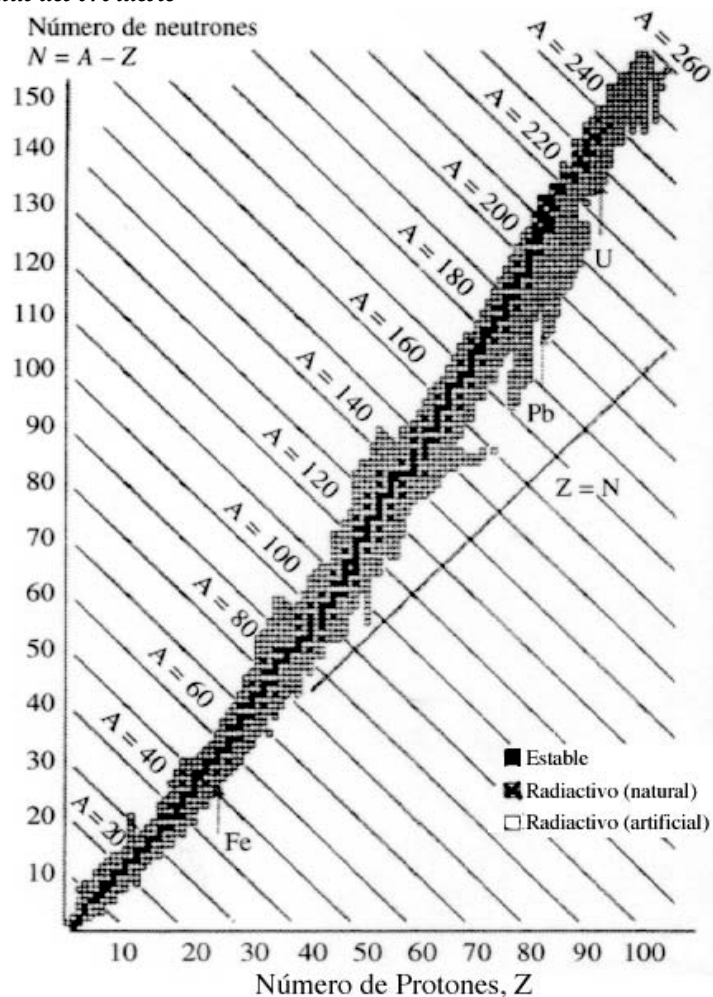
El núcleo ocupa una porción muy pequeña del volumen total de un átomo, pero contiene la mayor parte de su masa porque allí residen los protones y neutrones. Su densidad (masa/volumen) tan elevada, dada por lo empaquetadas que se hallan las partículas, es unos nueve billones de veces mayor que la del elemento más denso que se conoce. Para exagerar la casi incomprensible alta densidad, se ha sugerido que equivale a empaquetar la masa de todos los automóviles del mundo en un dedal.

Qué es lo que hace que estos protones, si están tan próximos, no se repelan teniendo en cuenta la ley de Coulomb? Sucede que además de la atracción prevista, también existen atracciones de corto alcance entre los protones, entre neutrones y protones y entre neutrones.

La **estabilidad de los núcleos** depende de la relación de neutrones y protones (n/p) que contenga el átomo. Para los átomos estables de elementos que tienen un Z bajo, la relación n/p se acerca a 1. Conforme aumenta el Z, la relación n/p tiende a ser mayor que 1. Esta desviación se debe a que se necesita un mayor número de neutrones para contrarrestar las fuertes repulsiones que hay entre los protones para poder estabilizar el núcleo. A medida que crece el número de protones, la repulsión electrostática es tan grande que los neutrones no son capaces de estabilizar el núcleo, por lo que a partir del elemento $Z = 83$ se observan fenómenos de desintegración radiactiva natural (espontánea).

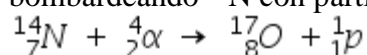
Si se grafica el número de neutrones frente al número de protones de varios isótopos, se verá que los núcleos más estables se localizan en una zona llamada **cinturón de estabilidad**. La mayoría de los núcleos radiactivos se encuentran fuera de este cinturón.

- Los núcleos por encima del cinturón (n/p mayor que los que se encuentran en el cinturón con la misma cantidad de protones) tienden a transformar un neutrón en protón con emisión de una partícula β^- . Con esto se aumenta el número de protones en el núcleo y se disminuye el número de neutrones.
- Los núcleos por debajo del cinturón (n/p menor que los que se encuentran en el cinturón con la misma cantidad de protones) tienden a transformar un protón en un neutrón con emisión de una partícula β^+ . Con esto se aumenta el número de neutrones en el núcleo y se disminuye el número de protones.



Transmutación nuclear

La Química nuclear sería un campo muy limitado si sólo se dedicara a estudiar los elementos radiactivos naturales. En 1919, Rutherford obtuvo por medio artificial ^{17}O bombardeando ^{14}N con partículas alfa.



Se demostró pues, que era posible transformar un elemento en otro mediante transmutación nuclear. A diferencia de la radiactividad natural, este tipo de radiactividad, conocida como transmutación nuclear, se origina al bombardear el núcleo con neutrones, protones y otros núcleos.

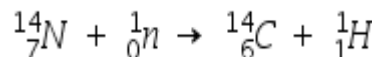
Muchos isótopos radiactivos se preparan empleando neutrones como proyectiles, lo cual resulta adecuado ya que al ser partículas sin carga, no son repelidas por los núcleos positivos.

Por el contrario, si los proyectiles fueran partículas α o protones, deben tener una energía cinética considerable para vencer la repulsión que ofrecerá el núcleo. Para ello se utilizan los llamados **aceleradores de partículas** para favorecer la reacción.

Estos aceleradores hicieron posible la síntesis de elementos con Z mayor a 92, llamados **elementos transuránicos** cuyos isótopos son todos radiactivos.

Aunque los elementos ligeros no suelen ser radiactivos, pueden adquirir esta propiedad al bombardear sus núcleos con partículas apropiadas.

Por ej. se puede preparar el isótopo radiactivo de $^{14}_6\text{C}$ al bombardear $^{14}_7\text{N}$ con neutrones. Esto también sucede cuando los rayos cósmicos bombardean el nitrógeno atmosférico.



Luego el isótopo radiactivo desintegra $^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\beta$

Esta serie de desintegración es el fundamento de la **técnica de datación con carbono radiactivo**.

El $^{14}_6\text{C}$ producido por los rayos cósmicos, que son inestables, por un lado se desintegran por emisión de partículas $-\beta$ (siguiendo una cinética de primer orden) y por otro, forman $^{14}\text{CO}_2$ que se mezcla con el dióxido de carbono común en el aire ($^{12}\text{CO}_2$). Este $^{14}\text{CO}_2$ entra en la biosfera y es tomado por las plantas para producir la fotosíntesis. Los animales comen las plantas y exhalan $^{14}\text{CO}_2$.

El $^{14}_6\text{C}$ que se pierde por desintegración radiactiva se renueva constantemente por la producción de nuevos isótopos en la atmósfera. En estos procesos de desintegración-renovación, se establece un equilibrio dinámico donde la relación entre ^{14}C y ^{12}C permanece constante en la materia viva.

Pero cuando una planta o animal muere, el isótopo ^{14}C no puede renovarse, sólo decae, y la relación disminuye.

En 1955 Libby sugirió que este hecho podría utilizarse para calcular el tiempo que el isótopo ^{14}C de un espécimen en particular, ha seguido desintegrándose sin renovarse.

El éxito de esta ingeniosa técnica depende de con cuánta precisión pueda determinarse la velocidad de desintegración de lo que quede de ^{14}C en la muestra en estudio. En muestras recientes la relación $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$ es $1 / 10^{12}$. La precisión es más difícil en muestras más antiguas porque contienen una proporción aún menor de ^{14}C . Sin embargo la técnica tiene mucho valor para calcular la edad de piezas arqueológicas, pinturas u objetos que datan de hace mil ó cincuenta mil años.

En 1988, tres laboratorios trabajaron con muestras de menos de 50 mg del **Sudario de Turín**. De manera independiente demostraron que la edad de la tela data del 1300 dC. Por lo tanto, niegan que el sudario haya sido la mortaja de Cristo.

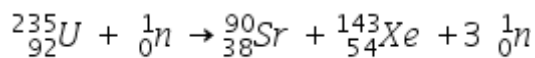
Desde entonces, numerosos libros han presentado diversos argumentos tanto para demostrar su autenticidad como para explicar cómo fue falsificada la imagen. Hasta el momento, la técnica con la que se impregnó el cuerpo visible en el Santo Sudario no ha podido ser explicada por la ciencia de manera concluyente. De modo que el sudario sigue siendo uno de los objetos más estudiados de la historia, además de ser uno de los más controvertidos.



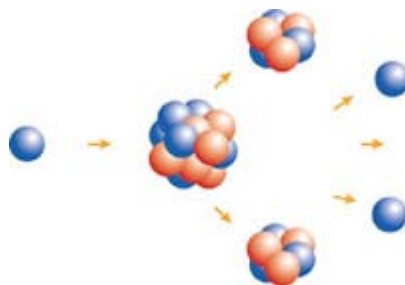
Actualmente se elaboraron muchos isotopos radiactivos por transmutaciones que se emplean en medicina (Co60 que reemplaza al Ra, I131, etc). En ingeniería para determinar espesores, movimientos de arenas, (Si radiactivo), inspección de soldadura, (gammagrafía), consolidación de terraplenes, laminación, hornos, etc. En disciplinas agrarias son empleados como trazadores, combatir plagas, etc. La Comisión Nacional de Energía Atómica –CNEA, organiza cursos de aplicación de radioisótopos en ingeniería e industria, muy interesantes.

Fisión nuclear

Por este proceso se divide un núcleo pesado (número de masa mayor a 200) para formar núcleos de masa intermedia y uno o más neutrones. Este proceso libera gran cantidad de energía ya que el núcleo pesado es menos estable que sus productos. La primera reacción nuclear que se estudió fue la del uranio-235 (que se encuentra en forma natural) bombardeado con neutrones lentos:

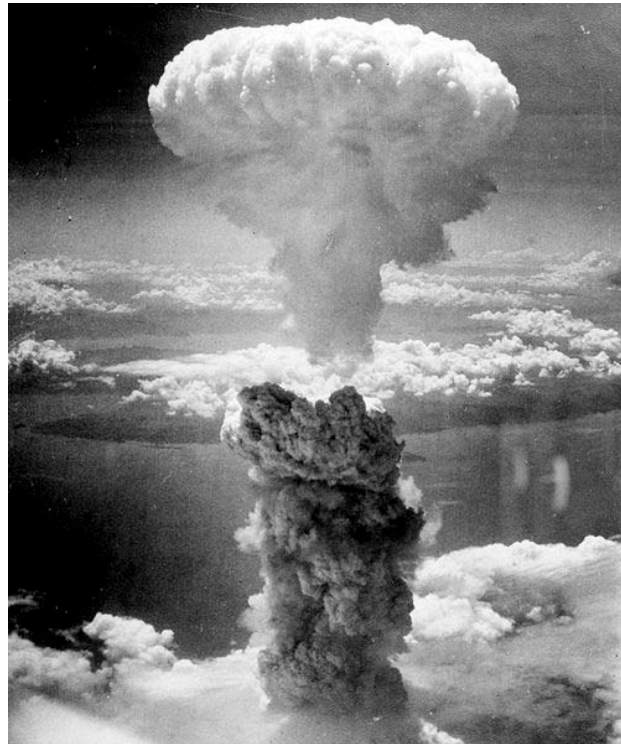


La característica sobresaliente de esta fisión no es sólo la enorme cantidad de energía liberada, sino el hecho de que la fisión produce más neutrones de los que se capturaron al inicio del proceso. Por esta propiedad es posible obtener una **reacción en cadena**, es decir, una secuencia de reacciones de fisión nuclear autosuficientes. Los neutrones generados en las etapas iniciales de la fisión pueden inducir fisión en otros núcleos de ${}^{235}\text{U}$, que a su vez producen más neutrones, y así sucesivamente. En menos de un segundo la reacción se vuelve incontrolable, liberando una gran cantidad de calor a los alrededores.



Para que la reacción en cadena pueda ocurrir debe existir suficiente cantidad de ^{235}U en el medio de reacción para capturar los neutrones. De lo contrario estos neutrones escaparían de la muestra y la reacción no progresaría. Se denomina **masa crítica** a la mínima masa del material fisionable necesaria para generar una reacción nuclear en cadena.

La fisión nuclear se aplicó por primera vez para fabricar la **bomba atómica**. Una bomba atómica pequeña equivale a 20.000 toneladas de TNT. La masa presente de ^{235}U debe ser de 1 kg aproximadamente. El ^{235}U fue el material fisionable empleado en la bomba lanzada sobre Hiroshima, Japón, el 6 de agosto de 1945. En la bomba que se hizo explotar en Nagasaki tres días después se utilizó plutonio-239 (un isótopo artificial). Las reacciones de fisión que se generaron fueron similares en ambos casos, como lo fue la magnitud de su destrucción.



Una aplicación de la fisión nuclear con fines pacíficos, aunque controvertida, es la generación de electricidad aprovechando el calor de una reacción en cadena controlada en un reactor nuclear. Los reactores nucleares producen el 20% del la energía eléctrica en Estados Unidos, en Francia el 80% del total generado, en argentina que posee 2 plantas en producción y 1 en construcción solo el 4% del total, cifras similares a otros países de América.

En los reactores nucleares de uso civil, la reacción en cadena se evita insertando en el material fisionable barras de control. Estas barras están compuestas de boro o cadmio, elementos llamados absorbentes de neutrones porque atrapan parte de los producidos en la fisión y evitan que la reacción se dispare. Dado que la fisión nuclear procede además mejor con neutrones dotados de una velocidad baja se usan también moderadores, como el agua pesada o el grafito, que frenan los neutrones rápidos generados en la fisión y mejoran la eficacia del reactor.

Ventajas de los reactores nucleares de fisión: Una de las ventajas de los reactores nucleares actuales es que casi no emiten contaminantes al aire (aunque periódicamente purgan pequeñas cantidades de gases radiactivos), y los residuos producidos son muchísimo menores en volumen y más controlados que los residuos generados por las plantas alimentadas por combustibles fósiles. En esas centrales térmicas convencionales que utilizan combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas), se emiten gases de efecto invernadero (CO₂ principalmente), gases que producen lluvia ácida (SO₂ principalmente), carbonilla, metales pesados, miles de toneladas anualmente de cenizas, etc. En una central nuclear los residuos sólidos generados son del orden de un millón de veces menores en volumen que los contaminantes de las centrales térmicas.

Peligros de la energía nuclear: Muchas personas, especialmente los ecologistas, consideran que la fisión nuclear es un método indeseable para producir energía. Muchos productos de fisión, como el estroncio-90, son radioisótopos peligrosos con vidas medias largas. El plutonio-239 es una de las sustancias más tóxicas que se conocen, ya que emite partículas alfa con una vida media de 24.400 años.

Los accidentes nucleares también representan graves peligros. En 1986 un reactor de la planta nuclear de Chernóbil se salió de control causando muertes y liberando gran cantidad de material radiactivo al medio ambiente. El efecto a largo plazo de la lluvia radiactiva derivada del accidente aún no se valora por completo, y el número de muertes por cáncer, atribuible a la contaminación por radiación es muy elevado.

Por otra parte, el problema de los desechos radiactivos de los reactores, aún no se resuelve de manera satisfactoria, ni siquiera durante la operación normal de las plantas nucleares. Se han propuesto diversas formas para almacenar o desechar los desperdicios radiactivos, pero ninguno demuestra ser absolutamente seguro a largo plazo.

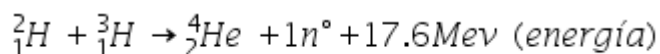
Fusión nuclear

La fusión nuclear es una reacción en la que se unen dos núcleos ligeros para formar uno más pesado. Este proceso desprende energía porque el peso del núcleo pesado es menor que la suma de los pesos de los núcleos más ligeros. Este defecto de masa se transforma en energía, se relaciona mediante la fórmula $E=mc^2$, aunque el defecto de masa es muy pequeño y la ganancia por átomo es muy pequeña, se ha de tener en cuenta que es una energía muy concentrada, en un gramo de materia hay millones de átomos, con lo que poca cantidad de combustible da mucha energía.

No todas las reacciones de fusión producen la misma energía, depende siempre de los núcleos que se unen y de los productos de la reacción. La reacción más fácil de conseguir es la del deuterio (un protón más un neutrón) y tritio (un protón y dos neutrones) para formar helio (dos neutrones y dos protones) y un neutrón, liberando una energía de 17,6 MeV.

Es una fuente de energía prácticamente inagotable, ya que el deuterio se encuentra en el agua de mar y el tritio es fácil de producir a partir del neutrón que escapa de la reacción.

Según la reacción:

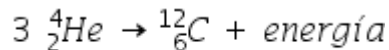


En el universo se producen reacciones de fusión constantemente.

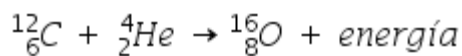
El hidrogeno se transforma en He, según la expresión anterior, lo que ocurre en el sol y en las estrellas, desprendiendo enorme energía, mientras poseen suficiente cantidad de hidrogeno.

Se calcula que en el sol (el sol es una estrella) se inicio la combustión hace 5 millones de años y seguirá el proceso por otros 5 millones de años, hasta agotar su hidrogeno.

Además de la combustión del H, en las estrellas ocurren otras reacciones que **dieron lugar a los distintos elementos químicos**. Cuando por gravedad se comprimen y aumenta su temperatura, ocurren reacciones como:



Continúa la compresión por las fuerzas gravitatorias y pueda suceder la reacción de fusión:



Sucesivas concentraciones gravitatorias y aumentos de temperaturas, forman nuevos elementos por fusiones como Fe, Si, etc; hasta que la inestabilidad de las estrellas lo hace arrojar al espacio los distintos elementos de allí la “frase polvo de estrellas”, aplicadas a los elementos componentes de la materia.

Tecnología: Esta reacción que se ha descrito antes es la más fácil de conseguir, pero no quiere decir que sea sencillo lograr energía de las reacciones de fusión. Para ello se deben unir los núcleos de dos átomos, el problema radica en que los núcleos de los átomos están cargados positivamente, con lo que al acercarse cada vez se repelen con más fuerza. Una posible solución sería acelerarlos en un acelerador de partículas y hacerlos chocar entre sí pero se gastaría más energía en acelerarlos que la que se obtendría con las reacciones.

Para solucionar este problema se comprimen esferas de combustible mediante haces de láseres o de partículas teniendo así la llamada *fusión por confinamiento inercial* en la que se obtienen densidades muy elevadas, de manera que los núcleos están muy cercanos entre ellos, y por efecto túnel se fusionan dando energía.

La otra forma de producir reacciones de fusión de manera que se gane energía es calentando el combustible hasta temperaturas de millones de grados de manera que los choques entre núcleos sean por agitación térmica, aquí también se aprovecha el efecto túnel. Como al estar a tan alta temperatura el combustible se disocia en partículas con cargas positivas y negativas, éste se puede controlar mediante campos magnéticos, ésta es la *fusión por confinamiento magnético*.

Ventajas de la fusión: La fusión nuclear es un recurso energético potencial a gran escala, que puede ser muy útil para cubrir el esperado aumento de demanda de energía a nivel mundial, en el próximo siglo. Cuenta con grandes ventajas respecto a otros tipos de recursos:

- Los combustibles primarios son baratos, abundantes, no radioactivos y repartidos geográficamente de manera uniforme (el agua de los lagos y los océanos contiene hidrógeno pesado suficiente para millones de años, al ritmo actual de consumo de energía).
- Sistema intrínsecamente seguro: el reactor sólo contiene el combustible para los diez segundos siguientes de operación. Además el medio ambiente no sufre ninguna agresión: no hay contaminación atmosférica que provoque la "lluvia ácida" o el "efecto invernadero".
- La radiactividad de la estructura del reactor, producida por los neutrones emitidos en las reacciones de fusión, puede ser minimizada escogiendo cuidadosamente los materiales, de baja activación. Por tanto, no es preciso almacenar los elementos del reactor durante centenares y millares de años.

Estado actual

Actualmente se ha producido energía de fusión nuclear en dos máquinas distintas, el JET (Joint European Torus) de la Unión Europea en Oxfordshire, y el TFTR (Toroidal Fusion Thermonuclear Reactor) en Princeton. Los dos son dispositivos de fusión por confinamiento magnético.

Se ha conseguido sólo en estas máquinas porque son las únicas que han inyectado tritio a un plasma de deuterio. El resto de máquinas funciona con plasmas de sólo deuterio o sólo hidrógeno para investigar en el comportamiento del plasma a altas temperaturas, pero sin producir fusiones.

Se ha demostrado la viabilidad científica de la producción de energía mediante fusión nuclear. El siguiente paso es construir un reactor que demuestre la viabilidad tecnológica para producir energía eléctrica a partir de la de fusión. Este reactor será ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), actualmente en fase de diseño. Para el diseño y construcción de este gran reactor se han asociado las diferentes comunidades de fusión (Rusia, Unión Europea, Japón y USA) ya que el esfuerzo tecnológico y económico no puede ser afrontado por un solo país.

Partículas elementales: Quartz

Actualmente se acepta que las partículas elementales que constituyen la materia son los llamados Quartz **u, d, y s**

u	(up)	Carga 2/3	Masa 310 Mev
d	(Down)	Carga -1/3	Masa 310 Mev
s	(Straing)	Carga -1/3	Masa 310 Mev

El Mev (mega electronvoltio) es unidad de energía que suele emplearse para definir masa, según
 $E \text{ (energ)} = m \text{ (masa)} \times c^2$
(Velocidad de la luz al cuadrado)

Estos Quartz asociados de distintas maneras explican todas las partículas que se observan en la lluvia cósmica y en los aceleradores de partículas, que son numerosas y antes no tenían explicación racional.

Hay también quartz **c, b, y t** con los que se completa las “6” infrapartículas que combinadas en múltiples formas explican todas las partículas elementales y sus propiedades como masa, carga, tiempo de vida, desintegración, e incluso como se formaron los orígenes del universo, poco tiempo después del “big bang”.

Existen los anti quartz con carga contraria $-d = -(-1/3)$, por ejemplo.

Así el protón estará formado por 2 quartz “u” y 1”d”, lo que dará su carga $2 \cdot \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = 1$

Masa será $3 \cdot 310 \text{Mev} = 930 \text{Mev}$

El neutrón estará compuesto por u-d-d y su carga será nula $\frac{2}{3} - 2 \cdot \frac{1}{3} = 0$

Mesón π^+ es: $u \cdot \bar{d}$, \bar{d} es un anticuartz $\bar{d} = -(-1/3)$ y resulta la carga y la masa

observada de 2 y la masa $310 \text{Mev} + 310 \text{Mev} = 620 \text{Mev}$ (expresadas en unidad de energía)