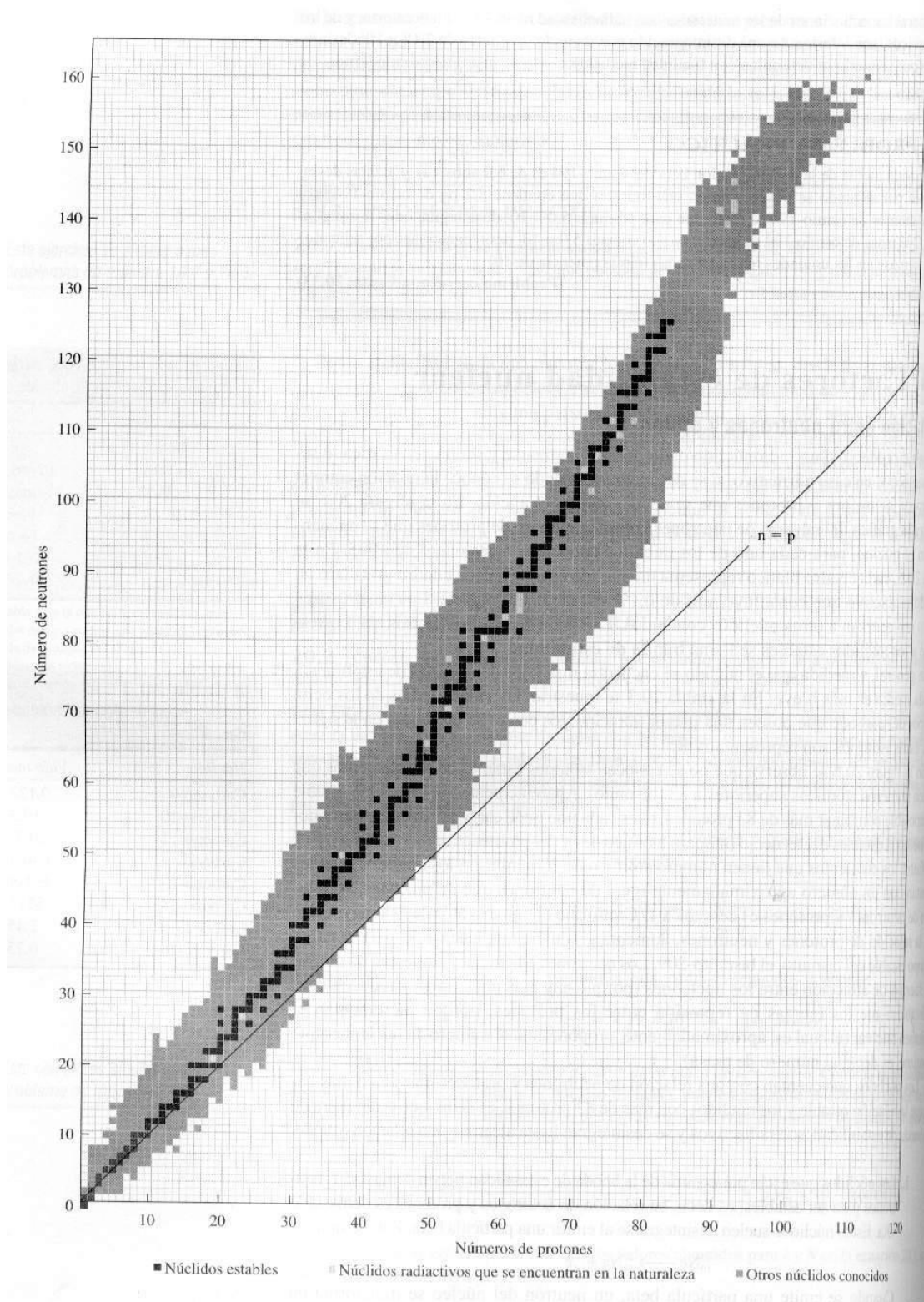


# CURVA DE SEGRÈ



# Características de los diferentes tipos de Emisión Radiactiva

## Emisión alfa

- Núcleos de helio ( ${}^4_2\text{He}^{2+}$ ) de masa igual a  $6,64 \times 10^{-24}$  g.
- Son emitidos por núclidos de  $Z > 83$ , en los cuales la repulsión coulombiana es muy grande. Núcleos con suficiente contenido energético como para emitir una partícula con 2 cargas positivas y masa tan considerable.
- Radiaciones muy energéticas que tienen un poder penetrante muy bajo en comparación a otras emisiones (es suficiente una par de hojas de papel). Sin embargo, presentan un alto poder ionizante.

## Emisión beta

- Pueden ser electrones o positrones. Estos últimos son partículas con la misma masa que el  $e^-$  ( $9,11 \times 10^{-28}$  g). Por otro lado presentan idéntico valor absoluto de la carga eléctrica, pero de signo opuesto, es decir, positivo.
- Son emitidos por el núcleo, lo que no significa que existan en el mismo. Éstos se forman en el momento de la emisión, cuando un neutrón se transforma en un protón o viceversa.
- Son partículas que interaccionan en menor medida con la materia que las alfa. Esto implica que no tiene tanta capacidad de ionización, pero si un mayor poder de penetración en comparación con las emisiones más masivas ( $\alpha$ ). Las partículas  $\beta$  son frenadas generalmente mediante unos pocos milímetros de material ligero o varios centímetros de aire, dependiendo de la energía de la emisión.

## Emisión gamma

- Radiación electromagnética de mayor energía (mayor frecuencia y menor longitud de onda) que los rayos X, por ejemplo. No tiene masa ni carga.
- Es emitida por núcleos excitados (con exceso de energía) los cuales se estabilizan emitiendo radiaciones gamma. No cambia A y Z de los núclidos padre e hijo pero su contenido energético, **por consiguiente son núclidos distintos**. También suelen acompañar a otros tipos de emisión (alfa o beta).
- Presentan un gran poder de penetración, solo las detiene una gran capa de hormigón o plomo (materiales muy densos). El poder de ionización es muy bajo.

## Interacción radiación – materia

Los diferentes tipos de emisiones radiactivas interactúan con la materia. Algunas son absorbidas con mayor facilidad que otras, dependiendo del tipo de emisión y su energía y del material absorbente y su grosor.

Entre los distintos tipos de interacción los más importantes son:

- **Absorción:** la radiación es retenida por el material debido a las interacciones con el campo nuclear o la periferia nuclear.
- **Ionización:** al chocar la radiación con el átomo, éste puede adquirir un contenido de energía mayor (excitarse) o ionizarse (separación completa de electrones periféricos) con formación de iones. No toda la energía de la partícula es gastada en la formación de los iones, sino que parte es transferida a éstos últimos en forma de energía cinética.

*IONIZACIÓN ESPECÍFICA:* número de pares de iones formados por unidad de longitud recorrida por la partícula. La ionización específica es **proporcional** a la masa y a la carga de la partícula e **inversamente proporcional** a su velocidad.

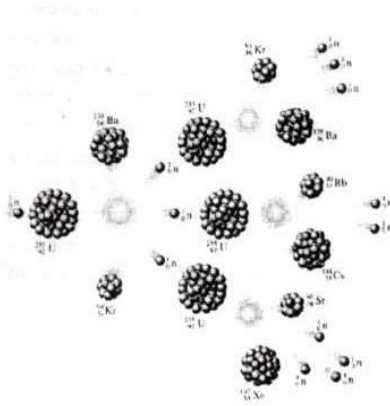
*PODER DE FRENADO:* asociado a la pérdida de energía que sufre una partícula cargada por unidad de longitud de recorrido.

*RECORRIDO O RANGO:* distancia que recorre la radiación antes de ser detenida por completo. Depende del tipo y energía de la radiación y de la naturaleza y estado del medio (material).

... Analiza el siguiente cuadro a partir de los conceptos anteriormente definidos:

|                         | <b>alfa</b> | <b>beta</b> | <b>gamma</b> |
|-------------------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>Poder ionizante</b>  | 10 000      | 100         | 1            |
| <b>Poder penetrante</b> | 1           | 100         | 10 000       |

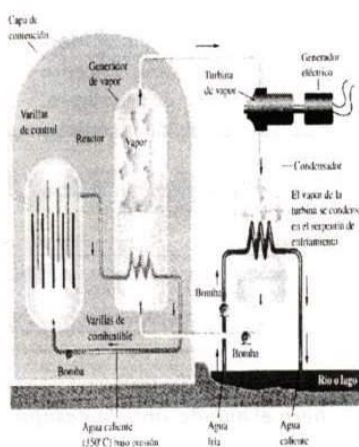
# ¿Qué es la Fisión Nuclear?



La **fisión** es una reacción nuclear en la cual un núcleo de gran masa se rompe en núcleos de menor masa y se libera energía. Los resultados de la fisión dan lugar a la formación de átomos pertenecientes a elementos diferentes del elemento fisionado. En algunos casos un núcleo puede fisionarse al ser bombardeado con neutrones. Así por ejemplo cuando el núcleo de uranio-235 es golpeado por un neutrón se rompe en dos núcleos. Las fisiones sucesivas de éstos nucleidos producen alrededor de 30 elementos diferentes de masa intermedia. Cuando el núcleo de uranio-235 se rompe, se liberan dos a tres neutrones. Si éstos son absorbidos por otros núcleos de uranio-235, estos núcleos se rompen y se liberan más neutrones. De este modo se puede llevar a efecto una **reacción en cadena**. Una reacción en cadena es una serie

de reacciones nucleares auto-sostenidas, ocasionadas por la absorción de neutrones liberados de las fisiones nucleares previas. El número de núcleos que se rompen se multiplica rápidamente. La reacción en cadena de fisiones nucleares es la base de la energía atómica y de las armas nucleares.

Para sostener una reacción en cadena en una muestra de material fisionable, un núcleo que se rompe debe dar un promedio de un neutrón que resulta de la fisión de otro núcleo y así sucesivamente. Si la muestra es demasiado pequeña, muchos de los neutrones dejan la muestra antes de tener la oportunidad de ser absorbidos. Así hay una masa crítica para un determinado material fisionable, la cual es la masa menor de material fisionable en la cual se puede sostener una reacción en cadena. Si la masa es mucho mayor, masa supercrítica, el número de núcleos que se fusionan se multiplica con rapidez. Una bomba atómica es detonada con una cantidad pequeña de un explosivo químico que presiona para que se reúnan dos o más masas de material fisionable para lograr una masa supercrítica. Una reacción en cadena rápida da como resultado la ruptura de la mayoría de los núcleos fisionables, y la explosión libera una cantidad enorme de energía.



Un **reactor nuclear** es un dispositivo que permite una reacción en cadena controlada de fisiones nucleares. En las plantas de energía se utiliza un reactor nuclear para producir calor. El calor, a su vez, se emplea para producir vapor que impulsa un generador eléctrico. Un reactor nuclear consiste en varillas de combustible que alternan con varillas de control contenidos dentro de un recipiente. Las varillas de combustible son los cilindros que contienen el material fisionable.

En los reactores comunes estas varillas de combustible contienen bolitas de bióxido de uranio en un tubo de aleación de circonio dentro de agua ligera. El uranio natural contiene solamente 0,72% de uranio-235 el cual es el isótopo que experimenta fisión. El uranio utilizado para el combustible de estos reactores es «enriquecido» de modo que contiene aproximadamente 3% del isótopo 235 del uranio. Las varillas de control son cilindros compuestos de sustancias que absorben los

neutrones por ejemplo boro y cadmio y en consecuencia pueden hacer más lenta la reacción en cadena. Al variar la profundidad de las varillas de control dentro del ensamblado de las varillas de combustible

<sup>1</sup> Extraído de LABORDE, "La estructura de la materia y sus propiedades", Anep, Mvdeo, 1999



(corazón del reactor), se puede incrementar o disminuir la absorción de neutrones. Si es necesario, estas varillas se pueden introducir hasta el fondo del ensamblado de varillas de combustible para detener la reacción en cadena. Cuando el uranio-235 es el combustible y este isótopo se encuentra solamente como una pequeña fracción del combustible total se hace necesaria la presencia de un moderador, sustancia que disminuye la velocidad de los neutrones. Los neutrones que son liberados por la ruptura del uranio-235 son absorbidos con más facilidad por el uranio-238 que por otros núcleos de uranio-235. Pero, cuando los neutrones son más lentos, es posible sostener una reacción en cadena con poca abundancia de la fracción de este isótopo. Comúnmente los moderadores que se utilizan son agua pesada ( $^2\text{H}_2\text{O}$ , con deuterio), agua o grafito. En el reactor de agua, actúa como moderador y como enfriador. El agua en el reactor se mantiene aproximadamente en  $350^\circ\text{C}$  bajo presión elevada (15 atm) para que no hierva. El agua caliente se hace circular a un intercambiador de calor en donde el calor es aprovechado para producir vapor que mueve una turbina y genera electricidad. Después de un intervalo de tiempo, los productos de fisión que absorben neutrones se acumulan en las varillas de combustible. Esto interfiere con la reacción en cadena, por lo que deben ser reemplazadas.

### **El accidente nuclear de Chernobyl**

El accidente nuclear que ocurrió en el reactor de Chernobyl, al norte de Kiev, en Ucrania, el 26 de abril de 1986, renovó el miedo de algunos acerca de la seguridad de los reactores nucleares por lo que es importante comprender la naturaleza de este accidente. Un reactor nuclear que emplea elementos combustibles normales no se puede convertir en una bomba atómica. Sin embargo, sin un diseño y las precauciones apropiadas hay la posibilidad de que una falla en el funcionamiento de un reactor produzca la dispersión de radiactividad peligrosa sobre un área poblada. Esto es, en efecto, lo que ocurrió en Chernobyl.

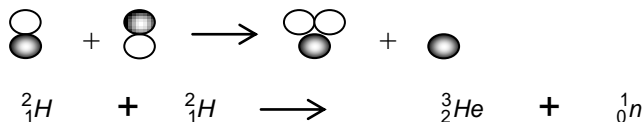


El reactor de Chernobyl tuvo serios problemas de diseño. A diferencia de los reactores de Estados Unidos, el reactor de Chernobyl no tenía una capa de confinamiento que rodeara las salpicaduras radiactivas. Otro problema fue el diseño del sistema de enfriamiento. El corazón del combustible tenía un moderador de grafito con enfriamiento de agua, en el que parte del agua líquida se cambió a vapor. El agua líquida es un buen absorbente de neutrones, en tanto que el vapor no lo es. Esto significó que el reactor se calentara y produjera un mayor porcentaje de vapor, y que más neutrones estuvieran disponibles para fisión nuclear. A menos que estos neutrones adicionales fueran absorbidos, el reactor se calentaría más y entonces saldría de control. Normalmente, al calentarse en el reactor, las varillas de control son empujadas automáticamente hacia el interior para absorber los neutrones extra. En Estados Unidos, un reactor de agua ligera, el agua de enfriamiento está siempre bajo presión para mantener la fase líquida. Mientras haya enfriamiento de agua el reactor estará bajo control.

El día del accidente de Chernobyl, los operadores invalidaron el sistema de seguridad mientras procedían a hacer una prueba experimental del reactor.

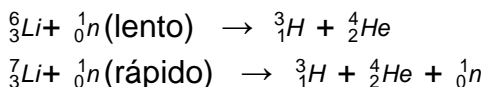
## Fusión Nuclear.<sup>2</sup>

La combinación de núclidos que presentan un número de masa bajo se llama **fusión**, y un ejemplo sencillo de esta es la siguiente:

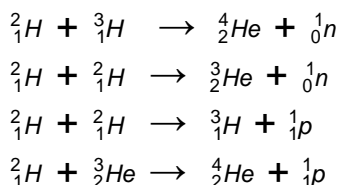


Sin embargo, la fusión requiere de temperaturas muy altas porque los núcleos tienen cargas positivas y se repelen unos a otros. Para que se lleve a cabo la fusión, los núcleos deben tener la suficiente energía cinética para vencer la repulsión que se da entre cargas similares.

Las armas de fusión, también llamadas bombas de hidrógeno o bombas termonucleares, obtienen la energía cinética necesaria para vencer la repulsión que se presenta entre cargas similares, cuando explota una bomba de fisión. Aunque no se dispone de información oficial, se cree que las bombas de hidrógeno modernas están constituidas por hidruro de litio, el cual contiene H-2 (deuterio). Los neutrones de la bomba de fisión reaccionan con el Li-6 formando H-3:



Después, el H-2 se fusiona con el H-3:

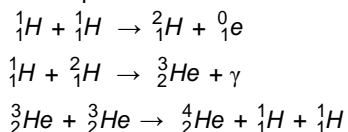


Las armas de fusión son mucho más potentes que las de fisión y han sido probadas por diversos países, pero nunca se han empleado en ninguna guerra.

Para utilizar la fusión como fuente de energía, es necesario que en la propia reacción se libere más energía que la que se emplea para la aceleración de los núcleos a tal velocidad que puedan chocar entre sí y combinarse. Se requiere de temperaturas de  $10^8\text{K}$ , y a éstas, todas las sustancias se encuentran en estado plástico: los átomos están totalmente ionizados en electrones y núcleos. Para obtener la energía necesaria para la fusión hay que alcanzar dicha temperatura, y al mismo tiempo contener la muestra en un volumen pequeño para permitir que los núcleos choquen entre sí. Se está investigando el uso de campos magnéticos de gran fuerza como contenedores; otra posibilidad consiste en emplear haces intensos de radiación electromagnética o partículas para calentar y comprimir la muestra.

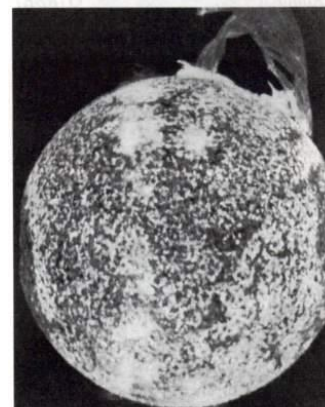
La reacción  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$  que libera  $2,82 \times 10^{-12}\text{J}$  por evento ( $1,697 \times 10^9\text{KJ/mol}$  de reacción o  $3,37 \times 10^8\text{KJ/g}$  de combustible) parece la más prometedora como fuente de energía, ya que presenta la energía de activación más baja de cualquier reacción de fusión y se lleva a cabo a una menor temperatura. El núclido de H-2 puede obtenerse del agua. Aunque el hidrógeno que se encuentra en la naturaleza contiene solo 0,015 % de H-2, hay disponibles aproximadamente  $2,5 \times 10^{13}$  toneladas de dicho núclido en los  $3,6 \times 10^{20}$  galones de agua que contienen los océanos. El H-3 no se encuentra en la naturaleza, por lo que es necesario fabricarlo, ya sea por captura de neutrones con H-2 o por las reacciones de Li-6 y Li-7 con neutrones. Sin embargo, aún es necesario aguardar a que se desarrolle la tecnología necesaria para efectuar una fusión controlada.

Mientras tanto, las reacciones de fusión que se llevan a cabo en el interior del Sol:



Probablemente continúen "arrojando"  $1,5 \times 10^{19}$  KJ de energía a diario sobre la superficie terrestre, como ha ocurrido durante millones de años. Se estima que esta cantidad de energía equivale, aproximadamente, a la cantidad total de energía que los seres humanos han utilizado desde el inicio de los tiempos.

*En la actualidad, el consumo de energía a nivel mundial es aproximadamente de  $6.5 \times 10^{14}$  kJ diarios.*



*Llamarada solar. Las reacciones de fusión que se llevan a cabo en el sol constituyen, en último término, la fuente de la mayor parte de la energía que se en la Tierra.*

<sup>2</sup> Extraído y modificado de UMLAND, "Química General", Int. Thomson Ed., 1999. 3ª ed.