

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los logros más importantes de la física del siglo XX fue llegar a comprender la estructura atómica de la materia. El deseo por conocer cuáles son los bloques últimos que la constituyen ha acompañado al hombre seguramente desde tiempo inmemorial.

Es así como, desde el descubrimiento del neutrón en 1932 el campo de la física nuclear ha crecido notablemente, existiendo hoy en día gran interés por los conceptos, los métodos y aplicaciones desarrolladas en este terreno. El neutrón por su carácter de partícula pesada carente de carga, tiene propiedades que lo hacen muy interesante y de gran importancia en la ciencia y tecnología contemporánea.

Los neutrones por si solos, se emplean directamente como instrumento de investigación; utilizando técnicas como la de análisis por activación neutrónica. Por lo cual, los científicos siempre han deseado que los métodos de análisis de elementos sean exactos, precisos, específicos, no destructivos, rápidos, económicos y universalmente aceptados. El análisis por activación neutrónica es una técnica que viene a satisfacer dichas necesidades, ya que es en particular muy sensitiva y exacta para la determinación de una gran variedad de elementos, los cuales no se podrían determinar por otros métodos de análisis.

Los principios básicos del análisis por activación neutrónica, fueron aplicados por primera vez en 1896 por el francés Henry Becquerel, como una consecuencia directa del descubrimiento, unos meses antes, de los rayos X. Becquerel encontró que una sal de uranio que guardaba en un cajón emitía ciertas radiaciones que velaban las placas fotográficas vírgenes. Parecía que el uranio despedía extrañas radiaciones. El término actual, radiactividad, no apareció sino años después, en un trabajo de Pierre y Marie Curie, conocidos investigadores en este campo.

En 1919, en el laboratorio de Ernest Rutherford se provocó por primera vez un cambio nuclear artificial. Desde entonces, y sobre todo a partir del descubrimiento del neutrón (Chadwick, 1932), los científicos nucleares encontraron un sin número de nuevos núcleos atómicos y multitud de aplicaciones energéticas y no energéticas de los mismos. Algunas de ellas han sido de enorme utilidad, pero otras han puesto a la humanidad al borde de un cataclismo planetario.

Por lo cual, los avances más importantes por comprender el núcleo atómico y la utilización del conocimiento nuclear tiene sus ventajas y desventajas como el aprovechamiento de la energía nuclear y su utilización para nobles fines o para la fabricación de misiles militares, la obtención de nuevos elementos químicos, más pesados que el uranio, el hallazgo de nuevas partículas nucleares, que ha desembocado en el planteamiento de novedosas teorías acerca de la constitución de la materia, y la utilización de los cambios nucleares en aplicaciones no energéticas, que han venido a apoyar el estudio del metabolismo humano y la eliminación de padecimientos, la comprensión de la forma en que suceden las reacciones químicas y nuevos métodos para analizar químicamente muestras con pequeños contenidos de ciertos elementos.

Es así, como el análisis por activación neutrónica consiste en una técnica establecida desde hace algunas décadas, con fines cualitativos o cuantitativos, cuyo propósito generalmente es la identificación o bien, la determinación de la masa de uno o más elementos contenidos en una muestra, además de parámetros físicos tales como: actividad, vida media y decaimiento de cada uno de ellos.

Así mismo, el gran número de reacciones nucleares constituye una valiosa fuente de información sobre el núcleo, y se han producido nuevas especies nucleares que, a su vez, proporcionan datos sobre los núcleos, encontrando aplicación en la química, la biología, la medicina, en la ingeniería, entre otras ramas.

Por tal razón, en la siguiente investigación se estudia el análisis por activación neutrónica como una alternativa que presenta una fiabilidad adecuada de los datos analíticos obtenidos.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo General

Establecer el análisis por activación neutrónica como método analítico para determinar el periodo de semidesintegración de la plata en una cadena utilizada como muestra.

Objetivo Especifico

Conceptualizar el análisis por activación neutrónica como método analítico para estudiar la desintegración radiactiva de la plata.

Realizar un protocolo experimental para la activación de la plata y determinación de su periodo de semidesintegración.

Determinar el periodo de semidesintegración del núclido $Ag - 110$ en una cadena de plata.

JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

El análisis por activación neutrónica a causa de su alta sensibilidad es una herramienta indispensable en una amplia variedad de campos como la ciencia e ingeniería, industria, exploración de minerales, medicina, monitoreo de medio ambiente y ciencias forenses.

Los análisis químicos, físicos y fisicoquímicos han sido desde épocas muy remotas herramientas útiles en las investigaciones de estos campos. El advenimiento de las técnicas analíticas instrumentales que permiten el análisis de trazas ha producido una verdadera revolución, poniendo al servicio de la investigación científica y del desarrollo tecnológico herramientas con una potencia nunca sospechada. Los elementos presentes a niveles de trazas, generalmente no alteran el aspecto químico y

físico de las sustancias ni tampoco sus propiedades y por lo tanto su cuantificación permite diferenciar sustancias muy semejantes en los aspectos mencionados.

Es así, como por ejemplo, los laboratorios han trabajado en la determinación de metales pesados (As, Hg, Sb, Se y Cd) en alimentos cárnicos, mediante técnicas nucleares, para el estudio de elementos tóxicos en alimentos de gran consumo y provenientes de un proceso de manufactura industrial.

De igual manera, en algunos países (Argentina) se han realizado investigaciones sobre la contaminación del aire por aerosoles, ya que es uno de los temas de mayor preocupación a nivel mundial y que juega un papel muy importante por sus efectos ecológicos y su incidencia sobre la salud, el cambio climático global y la visibilidad atmosférica y han determinado veinticuatro elementos en más de trescientas muestras, provenientes de cuatro sitios, lo cual permitió identificar los principales tipos de fuentes de emisión de contaminantes y reunir información sobre el perfil químico de los aerosoles.

Así mismo, dicha técnica puede ser utilizada para determinar la presencia de ciertos elementos tóxicos en el agua o el suelo, aun cuando se encuentren en una muy pequeña concentración, ya que dichos elementos pueden resultar potencialmente nocivos para la vida humana, animal o vegetal, representar un deterioro de la calidad de vida o disminuir los rendimientos de cosechas u otro tipo de explotaciones, para lo cual se han efectuando análisis de As, Mo, Sb, Se y U en varios cientos de muestras de aguas.

De igual forma, uno de los problemas planteados frecuentemente en investigación criminal es establecer la identidad o el origen de una muestra encontrada en el escenario de un crimen por comparación con muestras obtenidas de la persona y objetos personales del sospechoso. Estas muestras generalmente son pequeñas y de gran diversidad de materiales como: papel, fibras, pintura, cabellos, barro, aceites, polvo, entre otras. En muchos casos es difícil hacer esta identificación por métodos clásicos. En otros casos es conveniente conservar la muestra, lo que puede ser posible mediante análisis por activación no destructivo.

Por otro lado, el análisis por activación es una técnica que permite el análisis de elementos y no de compuestos, sus aplicaciones en este campo se limitan a casos de envenenamiento con arsénico, mercurio, selenio y antimonio. Se pueden analizar muestras como vísceras, secreciones o tejidos en crecimiento como cabellos y uñas.

Es por ello que frecuentemente en casos de crímenes cometidos con arma de fuego, se pueden capturar sospechosos cerca a la escena, durante muchos años se realiza la prueba del guantelete de parafina utilizando una solución sulfúrica de difenil-amina para detectar la presencia de nitratos y nitritos presentes en los residuos de pólvora en la parafina. Sin embargo, debido a los problemas que presenta dicha prueba y en los últimos años se ha tratado de cambiar por otra más segura. La activación neutrónica ofrece la posibilidad de reemplazar la determinación de nitratos y nitritos por la de antimonio, bario y a veces cobre, lo que da mucha mayor seguridad.

Finalmente el presente estudio servirá como punto de referencia para la realización de estudios posteriores que tengan como finalidad profundizar en el tema, ya que esta técnica no cesa de perfeccionarse a medida que nuevas necesidades estimulan la elaboración de otros métodos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

Antecedentes

Con el propósito de obtener un mayor conocimiento referente al tema a investigar; a través de otros trabajos se examinan la documentación relacionada que sirva de apoyo a la investigación y facilite el logro de los objetivos planteados.

Precisando a Iturbe (1995) en su trabajo “Determinación de Br y Cien hidrocarburos (Gasolinas) mediante análisis por activación neutrónica y de Pb por absorción atómica” señala que mediante la técnica de activación neutrónica se logra analizar diferentes tipos de gasolina que se usan normalmente en automóviles, para determinar las concentraciones de halógenos y la de absorción atómica para medir las cantidades de plomo. Para estimar la concentración de los elementos encontrados en las gasolinas mediante activación neutrónica, estos se deben colocar en un contenedor especial sobre el detector de germanio hiperpuro, con la finalidad de mantener las mismas condiciones de geometría.

Así mismo, en el trabajo desarrollado por Sanhuesa (2004) “Aplicación de análisis de pastas macroscópicas, petrográficos y de composición de elementos químicos al problema de la procedencia de cerámica en Chile y Argentina” se estudio como el análisis por activación neutrónica es una técnica mucho mas sofisticada, que requiere de un reactor nuclear y que apunta a la determinación de la concentración de los elementos químicos en la materia prima, los que caracterizan tanto a los áridos como la arcilla que compone la matriz, además de ser una técnica mucho más costosa y que también es aplicada a una muestra pequeña de materiales, tiene la ventaja de ser un procedimiento analítico estandarizado, relativamente rápido, con el que se puede

determinar la concentración de diversos elementos químicos simultáneamente y procesar rápidamente desde un punto de vista estadístico.

De igual manera, Reents (2006), en su trabajo “La cerámica de Kaminajuyu: Nuevos datos químicos” realizó un método de análisis instrumental por activación de neutrones que permite determinar la ubicación de los talleres en donde se fabricaron dichas piezas cerámicas, encontrando que el método por activación de neutrones le permitió determinar que dichas vasijas fueron hechas en Kaminajuyu.

Por su parte, Fournier (2007) desarrolló el trabajo “Conformación de una base de datos de composiciones elementales mediante INAA” en la cual plantea que el análisis de activación neutrónica constituye la fundamentación para el establecimiento de diferentes grupos composicionales de materiales cerámicos con relevancia histórica, para lo cual desarrolló un programa de estudio químico y técnico basado en análisis instrumentales de activación neutrónica de muestras de arcillas recuperados en sitios arqueológicos, a lo cual concluyó que el análisis por activación neutrónica se ha convertido en la técnica más importante en el estudio de los patrones de producción y distribución de cerámica.

De igual forma, Delgado (2009), en su trabajo denominado “Utilización de una fuente neutrónica reciclada para enseñar análisis por activación gamma inmediata” señala que la técnica de análisis por activación utilizando radiación gamma inmediata emitida en reacciones nucleares de captura neutrónica ha avanzado significativamente en los últimos veinte años y sus principios básicos pueden ser enseñados en cualquier país, aun sin disponer de una infraestructura nuclear avanzada, reciclando hacia la enseñanza de fuentes neutrónicas que ya no sean utilizadas para su propósito inicial, para lo cual en el trabajo realizado se diseñó un irradiador neutrónico casero, que a pesar de lo rudimentario logra demostrar de una forma cualitativa que un irradiador de bajo flujo es viable para la activación neutrónica y detección de rayos gamma.

Por otro lado, Quintana (2009) en su trabajo “Determinación de Iodo 129 en vegetales mediante activación neutrónica” desarrolló una metodología que permite determinar la concentración de Iodo en vegetales, utilizando activación neutrónica, en el cual los diferentes nucleídos generados por activación aparecen en el espectro

gamma. Por lo cual, constituye uno de los métodos más utilizados, ya que permite mejorar sustancialmente la sensibilidad debido a la alta sección eficaz para neutrones térmicos del yodo.

Finalmente, Ovalle (2010), en su trabajo titulado “Nuevas aplicaciones de análisis por activación de radiación de gamma instantánea (PGNAA)” indica que la técnica analítica nuclear (PGNAA) utiliza haces de neutrones térmicos provenientes de un reactor nuclear, siendo un método de análisis elemental conocido desde hace muchos años, pero solamente en estas últimas décadas ha alcanzado su máxima potencialidad debido al desarrollo de detectores de alta eficiencia y excelente resolución para la radiación gamma. En su trabajo desarrollo una serie de medidas experimentales realizadas con la finalidad de obtener patrones de referencia, encaminados a conseguir cuantificaciones de muestras sólidas en mediciones futuras, debido a que esta técnica permite observar la composición isotópica de elementos naturales y para ello se muestra un estudio realizado en níquel natural. Las mediciones efectuadas a muestras puras de titanio y níquel muestran que esta técnica es adecuada para determinar composiciones isotópicas de estos elementos, capacidad que se puede ampliar a otros elementos naturales. Por tanto, estas determinaciones pueden satisfacer requerimientos de la industria, igualmente, en cuanto a la determinación del boro, esta técnica resulta atractiva en el campo de la salud y agricultura.

Bases Teóricas

Radioactividad

Es el proceso mediante el cual los núcleos atómicos emiten espontáneamente diferentes formas de radiación. Los núcleos atómicos de una sustancia radiactiva no son estables y se convierten espontáneamente en otros núcleos emitiendo partículas alfa, beta y gamma.

En general son radiactivas las sustancias que no presentan un balance correcto entre protones o neutrones. Cuando el número de neutrones es excesivo o demasiado

pequeño respecto al número de protones, se hace más difícil que la fuerza nuclear fuerte debida al efecto del intercambio de piones pueda mantenerlos unidos. Eventualmente, el desequilibrio se corrige mediante la liberación del exceso de neutrones o protones, en forma de partículas α que son realmente núcleos de helio, y partículas β , que pueden ser electrones o positrones. La radiactividad puede ser:

Natural

Se denomina radiactividad natural a la radiactividad que existe en la naturaleza sin intervención humana. Su descubridor fue Henri Becquerel, quien descubrió en 1896 que el uranio poseía la propiedad natural de emitir radiactividad. Puede provenir de dos fuentes: *a)* Materiales radiactivos existentes en la Tierra desde su formación y *b)* Materiales radiactivos generados por interacción de rayos cósmicos con materiales de la Tierra que originalmente no eran radiactivos.

La radiactividad natural no es peligrosa para el hombre que coexiste con ella desde hace milenios. La radiactividad natural, de la que forman parte los rayos cósmicos, no es suficientemente ionizante para ser nociva a la vida pues no sobrepasa el potencial de restauración del organismo.

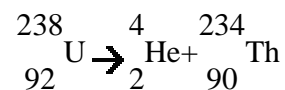
Artificial o inducida

Es la descomposición de los átomos por colisión con otras partículas atómicas. Para producir esta energía artificial es preciso bombardear intencionadamente el núcleo de un átomo de un determinado material. Si la energía de estas partículas tiene un valor adecuado, penetran el núcleo bombardeado y forman un nuevo núcleo que, en caso de ser inestable, se desintegra después radiactivamente. Fue descubierta por los esposos Jean Frédéric Joliot-Curie e [Irène Joliot-Curie](#), bombardeando núcleos de boro y de aluminio con partículas alfa. Observaron que las sustancias bombardeadas emitían radiaciones después de retirar el cuerpo radiactivo emisor de las partículas de bombardeo.

Partículas Alfa

Son núcleos de Helio, en cuyo interior coexisten dos protones y dos neutrones. Al carecer de electrones, su carga eléctrica es positiva, de $+2q_e$ de carga, mientras que su masa es de $4u$. Es la radiación característica de isótopos de número atómico elevado, tales como los del uranio, torio, radio, plutonio, por lo cual, la emiten núcleos de elementos pesados situados al final de la tabla periódica ($A > 100$). (Ver figura N°2)

Cuando un átomo emite una partícula α , la masa atómica del átomo disminuirá cuatro unidades (ya que 2 protones y 2 neutrones están perdidos) y el número atómico (z) disminuirá 2 unidades. Se generan habitualmente en reacciones nucleares o desintegración radiactiva de otros nucleídos que se transmutan en elementos más ligeros mediante la emisión de dichas partículas. Un ejemplo de una transmutación α tiene lugar cuando el uranio decae hacia el elemento torio (Th) emitiendo una partícula alfa tal como se ve en la siguiente ecuación:



Características

1. Son partículas muy pesadas, tienen una masa de $6,68 \times 10^{-27} \text{ kg}$.
2. Tienen carga positiva $+2q_e$ debido a la ausencia de los electrones y son desviadas por campos eléctricos y magnéticos.
3. Alcanzan una velocidad igual a la veintava parte de la de la luz ($c/20$) = 15000 km/s.
4. Poseen una gran energía cinética ya que tienen mucha masa y una gran velocidad.
5. Su capacidad de penetración es pequeña, en la atmósfera pierden rápidamente su energía cinética, porque interaccionan fuertemente con otras moléculas debido a su gran masa y carga eléctrica, generando una cantidad

considerable de iones por centímetro de longitud recorrida. En general no pueden atravesar espesores de varias hojas de papel.

Partículas Beta

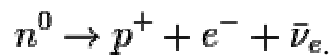
Son flujos de electrones (beta negativas) o positrones (beta positivas) resultantes de la desintegración de los neutrones o protones del núcleo cuando éste se encuentra en un estado excitado. Cuando un átomo expulsa una partícula beta, su número atómico aumenta o disminuye una unidad (debido al protón ganado o perdido). (Ver figura N°3)

Características

1. Se mueven a una velocidad próxima a la de la luz 270000 km/s.
2. Son desviadas por campos eléctricos y magnéticos.
3. Tienen una energía cinética menor que las partículas alfa, porque aunque tienen una gran velocidad tienen muy poca masa.
4. Son mucho más penetrantes que las partículas alfa, y son absorbidas prácticamente por una placa de aluminio de 5 mm de espesor o una de plomo de 1 mm.

Desintegración beta

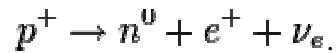
En este tipo de desintegración la fuerza débil convierte un neutrón (n^0) en un protón (p^+) y al mismo tiempo emite un electrón (e^-) y un antineutrino ($\bar{\nu}_e$):



El electrón y el antineutrino son expulsados con una energía variable. El resultado es un núcleo con el mismo número másico y número atómico $Z+1$, es decir con un protón más que el neutrón. Así en la desintegración del ^{137}Cs por β^- ;



En este tipo de desintegración un protón se transforma en un neutrón emitiendo un positrón (e^+) y un neutrino (ν_e):



En la emisión β^+ , el núcleo resultante tiene un neutrón más y un protón menos que su progenitor, quedando inalterado el número másico. Sin embargo, este último modo no se presenta de forma aislada, sino que necesita un aporte de energía.

Rayos Gamma

Es un tipo de radiación del género electromagnético, y por tanto, formada por fotones, debido a la alta energía que poseen, constituyen un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación alfa o beta. Se producen en la desexcitación de un nucleón de un nivel o estado excitado a otro de menor energía y en la desintegración de isótopos radiactivos.

El núclido no cambia su número atómico ni el de neutrones; simplemente reduce su energía. (Ver figura N°4)

Series Radiactivas

En muchas ocasiones, el producto de una desintegración radiactiva alfa o beta es todavía un núcleo inestable, que tarde o temprano vuelve a decaer. El proceso se repite varias veces, hasta que se forma un núcleo estable con una proporción conveniente de neutrones y protones. (Ver figura N°5)

A este conjunto de decaimientos nucleares se le conoce como serie radiactiva. En la figura se presenta la serie radiactiva del uranio-238, en la que, después de varias emisiones alfa y beta se obtiene un núcleo estable de plomo-206. Ésta es la razón de que en los yacimientos de uranio siempre existe plomo.

En la figura, los tiempos que aparecen debajo de cada una de las flechas son, precisamente, tiempos de vida media. Por ejemplo, para el uranio-238, el dato es de

cuatro mil millones de años. Aproximadamente, este tiempo es igual a la antigüedad de nuestro planeta. Así, si una muestra de uranio-238 se hubiera formado en la nube que dio lugar al Sistema Solar, aún hoy existiría la mitad de ese uranio presente; la otra mitad se habría transformado en otros núcleos, según se indica en la figura. Además, en ella se puede comprobar que los tiempos de vida media varían para cada núclido, siendo el polonio-214 el que menos tiempo toma en su decaimiento, apenas una milésima de segundo.

Captura Neutrónica

La captura neutrónica o captura térmica es un tipo de reacción nuclear en la que un neutrón colisiona con un núcleo atómico, de suerte que se combinan para formar un núcleo más pesado. La principal condición para que los neutrones sean capturados es que deben moverse tanto éstos como los núcleos blancos a velocidades parecidas, es decir, deben tener temperaturas similares. (Ver figura N°6)

Un neutrón libre a una velocidad relativamente baja es una partícula inestable, con una vida media de 15 minutos, así que el proceso de captura neutrónica está condicionado por esta circunstancia. Cuando el neutrón es capturado por el núcleo suele liberar inmediatamente el exceso de energía mediante un evento de decaimiento Gamma; además, el nuevo núcleo puede sufrir una desintegración beta para conseguir mayor estabilidad.

La fusión nuclear solo permite llegar hasta el pico del hierro. Para crear núcleos más pesados que este elemento hacen falta otro tipo de reacciones distintas. La captura de neutrones es una reacción sencilla. Los neutrones al ser partículas neutras no han de superar una barrera de potencial electromagnético por lo que pueden chocar sin problemas con cualquier núcleo. Al hacerlo dan como resultado un isótopo con un número másico mayor pero el mismo número atómico ya que el número de protones no varía. Este proceso se puede seguir repitiendo hasta que el núcleo sobrecargado de neutrones se vuelve tan inestable que la desintegración beta ocurre con más rapidez de la que se absorbe otro neutrón. Cuando ocurre esto el núcleo incrementa su

número atómico pero mantiene intacto el másico. Al hacerlo aumenta su estabilidad y puede seguir captando neutrones. Y así, poco a poco, los átomos van engordando hasta elementos más pesados que el hierro.

La captura neutrónica puede ser usada como método de análisis no destructivo de materiales. Diferentes elementos emiten diferentes patrones de radiación característicos cuando se les somete a un proceso de captura de neutrones. Esto hace que sea proceso tecnológico muy útil en campos como la minería o la seguridad.

Tipos de Procesos de Captura Neutrónica

Hay dos tipos de procesos de captura neutrónica: un proceso de captura «rápida» (proceso-r) y un proceso de captura «lenta» (proceso-s). Estos procesos pueden generar, para un mismo núcleo blanco, distintos isótopos; es más, algunos isótopos sólo pueden resultar de uno u otro proceso, pero no de ambos. (Ver figura N°7)

Proceso-r. El *proceso-r* (por «rápido») es un proceso de captura neutrónica para elementos radiactivos que se da en condiciones de alta temperatura y alta densidad neutrónica. En el proceso-r los núcleos son bombardeados por un elevado flujo de neutrones para crear núcleos muy inestables con gran cantidad de neutrones que, a su vez, decaen muy rápidamente para formar núcleos estables pero siempre muy ricos en neutrones.

Debido al altísimo flujo neutrónico en este proceso (del orden de 10^{22} neutrones por cm^2 por segundo), la velocidad de formación isotópica es mucho mayor que la de la desintegración beta posterior, por lo que los elementos creados por esta vía ascienden rápidamente por la línea de estabilidad N/Z (número de neutrones / número de protones o número atómico), incluso atravesando zonas de inestabilidad, en donde la energía de separación neutrónica es cero. Los neutrones se acumulan, creando nuevos isótopos hasta llegar a la región donde la masa atómica es 270, donde experimentan fisiones espontáneas debido a la inestabilidad del núcleo formado.

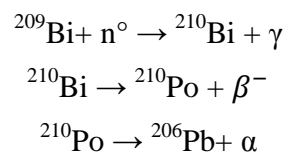
Los picos de abundancia de elementos observados muestran evidencias de la captura neutrónica rápida seguida de una desintegración beta posterior, ya que los

picos de abundancia del proceso-r están 10 una por debajo de los formados por el proceso-s, indicando que el ascenso por la línea N/Z da lugar a capas neutrónicas cerradas con la suficiente deficiencia protónica como para hacer los picos resolubles.

Proceso-s. El *proceso-s* (del inglés *slow*, «lento») implica la captura de un solo neutrón que produce un núcleo estable, o que decae mediante desintegración beta en un núcleo estable antes de que se pueda producir otra captura neutrónica, requiere condiciones de menor densidad neutrónica y menor temperatura que el proceso-r. En esas condiciones el índice de captura neutrónica por los núcleos es lento si se compara con la velocidad de la desintegración beta. Se obtienen isótopos estables moviéndose a lo largo del valle de estabilidad dentro de la tabla de isótopos. El proceso-s produce aproximadamente la mitad de los elementos más pesados que el hierro y, por lo tanto, desempeña un papel importante dentro de la evolución química galáctica. El proceso-s difiere del -r, más rápido, en términos de caminos de reacción y condiciones de reacción.

Se cree que el proceso-s se da en estrellas más masivas que el sol. A diferencia del proceso-r, que puede darse durante segundos en entornos explosivos, el proceso-s puede alargarse miles de años. El grado según el cual el proceso-s hace aumentar el número atómico de los elementos a lo largo de la tabla isotópica depende esencialmente de la capacidad de la estrella para producir neutrones y por la cantidad inicial de hierro presente. El hierro es el material de partida necesario para que se dé este tipo de captura neutrónica más desintegración beta, a partir de la cual se sintetizan nuevos elementos.

Debido a los flujos neutrónicos relativamente bajos que se esperan para que se dé el proceso-s (del orden de 10^5 a 10^{11} neutrones por cm^2 por segundo), no pueden obtenerse elementos más allá de los isótopos radiactivos del torio o el uranio. El ciclo que pone fin al proceso-s es:



Es entonces cuando el ^{206}Pb captura tres neutrones dando ^{209}Pb , el cual a su vez se desintegra emitiendo un electrón resultando ^{209}Bi , reanudándose el proceso.

Reacción Nuclear

Son los procesos por los cuales se combinan o se fragmentan los núcleos de los átomos con la liberación o absorción de energía y de partículas, y la subsecuente formación de nuevos elementos. Las reacciones nucleares incluyen cambios en las partículas del núcleo de un átomo y por consiguiente causan un cambio en el átomo mismo.

Todos los elementos más pesados que el bismuto (Bi) (y algunos más livianos) exhiben una radioactividad natural y por consiguiente pueden decaer hacia elementos más livianos.

Sin embargo, las reacciones nucleares pueden también ser estimuladas artificialmente. Hay dos tipos de reacciones nucleares artificiales:

La Fisión Nuclear

Son reacciones en las cuales un núcleo de un átomo se divide en partes más pequeñas, soltando una gran cantidad de energía en el proceso. (Ver figura N°8)

La fisión se puede inducir por varios métodos, incluyendo el bombardeo del núcleo de un átomo fisionable con una partícula de la energía correcta; la otra partícula es generalmente un neutrón libre. Esta última, ocurre al “lanzar” un neutrón en el núcleo de un átomo. La energía del neutrón en forma de “bala” provoca la división del blanco en dos (o más) elementos que son menos pesados que el átomo original. Este neutrón libre es absorbido por el núcleo, haciéndolo inestable. El núcleo inestable entonces se partirá en dos o más pedazos: los productos de la fisión que incluyen dos núcleos más pequeños, hasta siete neutrones libres (con una media de dos y medio por reacción), y algunos fotones.

Los núcleos atómicos lanzados como productos de la fisión pueden ser varios elementos químicos. Los elementos que se producen son resultado del azar, pero

estadísticamente el resultado más probable es encontrar núcleos con la mitad de protones y neutrones del átomo fisionado original.

Los productos de la fisión son generalmente altamente radiactivos, no son isótopos estables; estos isótopos entonces decaen, mediante cadenas de desintegración.

Durante la fisión de U235, 3 neutrones son soltados adicionalmente a los dos átomos resultantes. Si estos neutrones chocan con núcleos U235 vecinos, ellos pueden estimular la fisión de estos átomos y empezar una reacción en cadena nuclear autónoma. Esta reacción en cadena es la base del poder nuclear. A medida que los átomos de uranio siguen dividiéndose, la reacción libera una significativa cantidad de energía. El calor liberado durante esta reacción es recogido y usado para generar energía eléctrica.

La Fusión Nuclear

Es el proceso por el cual varios núcleos atómicos de carga similar se unen para formar un núcleo más pesado. Se acompaña de la liberación o absorción de una cantidad enorme de energía. Un buen ejemplo es la fusión de dos isótopos de hidrógeno “pesado” (deuterio: H2 y tritio: H3) en el elemento helio. (Ver figura N°9)

La fusión de dos núcleos de menor masa que el hierro (que, junto con el níquel, tiene la mayor energía de enlace por nucleón) libera energía en general, mientras que la fusión de núcleos más pesados que el hierro absorbe energía; y viceversa para el proceso inverso, fisión nuclear. En el caso más simple de fusión del hidrógeno, dos protones deben acercarse lo suficiente para que la interacción nuclear fuerte pueda superar su repulsión eléctrica mutua y obtener la posterior liberación de energía.

El sol y todas las estrellas son enormes reactores de fusión. Las estrellas son esencialmente gigantes bolas de gas de hidrógeno bajo alta presión debido a las fuerzas gravitacionales. Las moléculas de hidrógeno son fusionadas en helio y elementos más pesados dentro de las estrellas, soltando energía que recibimos como luz y calor.

Desintegración Radiactiva

Las desintegraciones radiactivas de los núcleos son procesos espontáneos y aleatorios (ocurren al azar) y por tanto se rigen por las leyes estadísticas. Esto significa que se puede predecir cómo se va a comportar una muestra formada por muchos núcleos radiactivos, pero si se tiene un núcleo radiactivo, no se puede predecir el tiempo que va a tardar en desintegrarse ese núcleo.

En una muestra de un material radiactivo, la cantidad de núcleos va disminuyendo con el tiempo debido a que se van desintegrándose y transformándose en núcleos de otro elemento distinto. (Ver figura N°10)

El número de núcleos que se desintegran en un determinado tiempo (ΔN) dependerá del número de núcleos radiactivos que existan (N), del tiempo que lleve desintegrándose (Δt), y del tipo de núcleo radiactivo que sea (λ). Por tanto, la ecuación que determina el número de núcleos que se han desintegrado será:

$$-\Delta N = \lambda N \Delta t$$

donde el signo negativo de la expresión indica que los núcleos presentes en la muestra van disminuyendo, y la letra griega lamda es la llamada *constante de desintegración*, cuyo valor depende del tipo de núcleo considerado. Cada tipo de núcleo radiactivo tiene un valor de constante de desintegración característico.

De la ecuación anterior se puede deducir la *actividad* de una muestra, que es el número de desintegraciones que se producirán en esa muestra en la unidad de tiempo, o número de núcleos que desaparecerán en la unidad de tiempo:

$$Actividad = \frac{-\Delta N}{\Delta t} = \lambda N$$

En 1904, Rutherford había descubierto que la actividad de una sustancia radiactiva disminuía de forma exponencial con el tiempo. Como la actividad de la muestra depende del número de núcleos radiactivos que existan, resulta que: “El número de núcleos radiactivo de una muestra disminuye exponencialmente con el tiempo”

En una muestra donde inicialmente existen N_0 núcleos radiactivos, para determinar el número de núcleos que quedan sin desintegrar, N , después de transcurrido un tiempo, t , hay que aplicar la siguiente expresión:

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

Si se representa el número de núcleos radiactivos existentes en la muestra en función del tiempo, se obtiene la gráfica donde se observa la disminución exponencial de los núcleos con el tiempo, donde el valor de la constante de desintegración determina la pendiente de la curva, mientras mayor sea el valor de la constante de desintegración, más rápidamente decrece el número de núcleos de la muestra.

Periodo de Semidesintegración

Es el tiempo que tarda una muestra en reducir el número de núcleos existentes inicialmente a la mitad, es decir, si inicialmente existían N_0 núcleos radiactivos, cuando haya transcurrido un tiempo igual al periodo de semidesintegración, el número de núcleos restantes será la mitad de los iniciales, $N = \frac{N_0}{2}$.

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

El periodo de semidesintegración es independiente del número de núcleo que exista, su valor es una constante que es característica para cada tipo de núcleo radiactivo. Ejemplos de periodos de semidesintegración de algunos núcleos radiactivos son:

<i>Núcleo Radiactivo</i>	<i>Periodo de Semidesintegración</i>
Carbono-14	5730 años
Yodo-131	7,21 días
Uranio-238	$4,468 \times 10^9$ años
Radon-220	54,57 segundos

Vida Media

Es el promedio de vida de un núcleo antes de desintegrarse. Se representa con la letra griega τ (Tau). La desintegración nuclear es un proceso probabilístico (en

concreto sigue la ley de Poisson) por lo que esto no significa que un determinado núcleo vaya a tardar exactamente ese tiempo en desintegrarse.

Para referirse a la velocidad con que ocurren las desintegraciones nucleares se utiliza el concepto de vida media.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{t \frac{1}{2}}{0,693}$$

Unidades de Radiación

Unidades de Actividad

El curie (Ci) se define como la actividad de una cantidad de material radiactivo en la cual el número de desintegraciones por segundo es $3,7 \times 10^{10}$ (un número casi igual que el número de desintegraciones por segundo a partir de 1 gramo de radio). Puesto que un Curie es una cifra larga de radioactividad, son de uso general las unidades de milicurie (mCi) o microcurie (μ Ci).

Se utiliza también el Becquerel (Bq) como unidad de actividad. $1Ci = 37GBq$

Unidad de Exposición

Es una unidad utilizada para la medición de la exposición a la radiación. Solamente puede ser usada con propiedad para medir cantidades de radiación ionizante electromagnética, es decir, rayos gamma o X, y solamente en el aire. Un roentgen es la energía radiante que deposita $2,58 \times 10^{-4} \text{Coulomb/kg de aire seco}$. Es realmente una medida de la ionización existente en las moléculas de una masa de aire.

Unidades de Dosis absorbida

El rad. Es la unidad especial de la energía absorbida en términos de energía depositada en la materia. Se define como la cantidad de radiación de ionización que deposite $100 \text{ergios/gramos de material}$. Para la mayoría de los usos, puede ser

asumido como $1\text{Roentgen} = 1\text{rad}$ y puede ser utilizada para cualquier tipo de radiación y para cualquier material

El Gray (Gy). Es una medida de la dosis absorbida. Como el rad, su equivalente en el sistema tradicional, puede utilizarse para cualquier tipo de radiación, y para cualquier material. Un Gray es igual a un Julio de energía depositado en un kilogramo de materia.

Como el rad, no describe los efectos biológicos de la radiación. La dosis absorbida se expresa a menudo en centésimas de Gray o centigrays. Un Gy es equivalente a 100rads

El rem. Unidad para indicar la peligrosidad de una radiación, que debe su nombre al físico alemán Willhem Roentgen (1845-1923). Roentgen Equivalent Man (rem) es una unidad física utilizada antiguamente. Sus dimensiones son julios por kilogramo (J/kg).

La unidad admitida en el Sistema Internacional de Unidades (SI) para medir esta cantidad es el sievert (Sv) con las mismas dimensiones que el rem. La equivalencia con la nueva unidad es $1\text{ Sv} = 100\text{ rem}$.

El sievert. Es una unidad derivada del SI que mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva, corregida por los posibles efectos biológicos producidos. 1 Sv es equivalente a un julio entre kilogramo (J kg^{-1}). Esta unidad da un valor numérico con el que se pueden cuantificar los efectos estocásticos producidos por las radiaciones ionizantes.

Su diferencia con el gray (unidad de la dosis absorbida) es que el sievert está corregido por el daño biológico que producen las radiaciones, mientras que el gray mide la energía absorbida por un material.

Se cumple la equivalencia $1\text{ Sv} = 1\text{ Gy}$ para las radiaciones electromagnéticas (Rayos X y gamma) y los electrones, pero para otras radiaciones debe utilizarse un factor corrector: 20 para la radiación alfa, de 1 a 20 para neutrones.

Moderador de Neutrones

Es un medio que reduce la velocidad de los neutrones rápidos, llevándolos a neutrones lentos o térmicos.

La disminución de la velocidad de los neutrones se obtiene por el choque entre este neutrón y los núcleos de los átomos del material moderador. Tras el choque, una parte de la energía cinética del neutrón se transmite al núcleo, lo que provoca la disminución de la velocidad del neutrón.

Los buenos materiales moderadores son materiales que poseen masas atómicas bajas (agua, agua pesada) lo que maximiza la energía transferida en cada choque y por consiguiente el desaceleramiento del neutrón, además, es importante que los materiales moderadores posean una baja sección eficaz de captura para no absorber los neutrones. Cuanto más parecidas sean las masas del neutrón y de la partícula golpeada, mayor es la pérdida de energía cinética por el neutrón.

El elemento que actúa de moderador suele ser: hidrógeno, deuterio (presente en el agua pesada) o carbono.

Neutrón Lento

Tienen una energía menor o igual a 0,4 eV y dada su pequeña velocidad, los neutrones lento tienen tiempo para sufrir la acción de los núcleos que atraviesan y dejarse capturar por éstos gracias a un efecto de resonancia con las capas neutrónicas de los núcleos efecto del cual la mecánica ondulatoria permite dar cuenta. Posee una sección eficaz muy grande para interactuar.

Neutrón Rápido

Un neutrón rápido es un neutrón libre con un nivel de energía cinética mayor a 1eV, por lo tanto, con una velocidad de 14.000 km/s. Si atraviesa un material,

experimentará muchas colisiones con núcleos. Posee una sección eficaz muy pequeña para interactuar.

Neutrón Térmico

Un neutrón térmico es un neutrón libre con una energía cinética de alrededor de 0,025eV a 1ev, por lo tanto con una velocidad de 2,2 km/s. Están en equilibrio térmico con el medio en que se hallan ya que han sido frenados por choques con la materia para que adquieran la velocidad de agitación térmica correspondiente a la temperatura del medio.

Los neutrones térmicos tienen una sección eficaz para absorción de neutrones diferente y a menudo mucho mayor para un determinado nucleído que los neutrones rápidos, por lo que pueden a menudo ser absorbidos por un núcleo atómico, creando, como resultado, un isótopo más pesado -y con frecuencia inestable- del elemento químico.

Neutrones Epitérmicos

Tienen una energía 0,025 a 1 eV. Su energía cinética es ligeramente superior a la agitación térmica.

Absorción Neutrónica

El núcleo de los átomos está compuesto por neutrones y protones. Si un núcleo es bombardeado con neutrones, posee una probabilidad determinada de incorporarlo a su composición. Esa probabilidad está dada por una cantidad llamada sección eficaz de absorción. Cuando un isótopo con n neutrones y z protones incorpora de esta forma un nuevo neutrón, se convierte en un isótopo con $n+1$ neutrones y z protones.

Activación Neutrónica

Cuando el isótopo resultante es radiactivo el fenómeno se denomina Activación Neutrónica. Este efecto hace que aparezcan una serie de isótopos radiactivos en lugares donde se producen neutrones, como pueden ser las centrales nucleares, ya que en muchas ocasiones los isótopos que han sido activados, resultan ser inestables.

Análisis por Activación Neutrónica

El Análisis por Activación Neutrónica (AAN) es un método físico que permite medir las concentraciones de los diferentes elementos de que está compuesta una muestra. Este método consiste en lograr que algunos de los átomos presentes en la muestra se vuelvan radiactivos mediante la captura de un neutrón. Posteriormente se mide la radiación que emiten al decaer a un estado estable. No todos los núcleos activados decaen de la misma forma: el período de desintegración (vida media) puede variar desde pocos milisegundos hasta decenas de años dependiendo del núcleo en cuestión, y el tipo y la energía de la radiación (β^+ , β^- , X, gama) que emiten al decaer es también característica de cada nucleído. Estas propiedades son las que permiten identificar los elementos presentes.

Ventajas del AAN

1. Es una técnica instrumental no destructiva,
2. Entrega en forma simultánea información multielemental,
3. Para muchos elementos se obtienen límites de detección que van desde las partes por millón hasta las partes por billón.
4. Por ser un método basado en procesos que tienen lugar en el núcleo atómico, el estado físico y químico de los elementos no influye en el resultado final y

5. La ausencia de pre-tratamiento de la muestra hace del análisis por activación una técnica analítica adecuada para el análisis de trazas.

Uso del AAN

El método de NAA tiene aplicaciones en cualquier área donde sea necesario el conocimiento cuantitativo de cantidades minúsculas de materiales presentes en una muestra.

Por ejemplo, los polucionantes atmosféricos pueden recogerse y analizarse. En análisis forense esta técnica es ampliamente aplicada. En investigaciones criminales, las municiones de armas de fuego contienen compuestos de Ba y Sb y el disparo de una pistola deja residuos de estos.

Por el contrario, los análisis químicos ordinarios requieren que la muestra sea vaporizada, disuelta, quemada o alterada permanentemente por otros medios.

Fuente de Neutrones

Una Fuente Blindada de Neutrones permite la producción de radioisótopos de corta vida, con los cuales se puede estudiar las leyes de la desintegración radiactiva, de la absorción, de la reflexión, etcétera.

Una fuente de neutrones consta principalmente en dos partes: una primera parte, que consiste en un preparado, que da origen, mediante cierta reacción nuclear a la producción de neutrones y una segunda parte representada por un moderador, bloqueo de parafina, de varios decímetros cúbicos tal (Ver figura N°11).

Como preparado se acostumbra a usar generalmente, por múltiples razones, una mezcla de sal de radio y polvo de berilio, tal fuente se llama fuente de neutrones de Ra-Be. El radio al desintegrarse espontáneamente, produce una partícula (núcleo del átomo de helio: $2p + 2n$) y el radón, un gas muy activo, emisor también de partículas gammas. Este gas no puede abandonar el recipiente, en el cual se encuentra el preparado de Ra-Be. Las partículas alfa (α) del Ra y de sus subproductos chocan con

los núcleos de berilio, produciéndose de esta manera la emisión de neutrones que usa la fuente como proyectiles de bombardeo par irradiar muestras expuestas a su flujo.

La energía de los neutrones emitidos es de $E_n = 5,6 \text{ MeV}$; lo cual corresponde a neutrones rápidos. Los neutrones rápidos proceden del berilio.

Como estos neutrones rápidos difícilmente son capturados por la materia, es necesario frenarlos, ya que debemos usar indispensablemente un moderador como sistema de drenaje. El procedimiento ordinario para producir “neutrones lentos”, consiste en rodear el preparado radio-berilio con parafina o alguna sustancia que contenga gran cantidad de átomos de hidrógeno o deuterio.

En la Fuente Blindada de Neutrones que se usará en la etapa experimental, el moderador es la parafina, ya que ella posee un peso molecular por átomo de hidrógeno menor que el agua (que será otro moderador adecuado por lo económico). A medida que los neutrones atraviesan la sustancia moderadora los choques elásticos con los núcleos de hidrógeno les hacen perder velocidad continuamente hasta que a una distancia de unos 5 a 10 cm del preparado de Ra-Be, la mayor parte de ellos han perdido su energía inicial.

La poca energía que tienen la han adquirido en las colisiones térmicas regulares con otros átomos. Debido que su movimiento resultante son muy parecidos a los movimientos al azar de los átomos y moléculas del moderador, se les llama neutrones térmicos.

El objetivo fundamental de una fuente de neutrones yace en la posibilidad, de activar una sustancia, transformándola en radiactiva artificialmente.

Se pueden construir fuentes de neutrones de Ra-Be, Ra, D-Be, Po-Be, entre otros, pero la que ofrece mayores ventajas es la de Ra-Be, a pesar de que ésta tiene la desventaja a otro tipo de preparado, que al lado de la radiación de neutrones es emitida, también, una radiación gamma relativamente intensa y no siempre deseada, motivo por el cual se la debe blindar muy bien. Un preparado del Ra D-Be o de Po-Be, produce una radiación.

Descripción de la Fuente Blindada de Neutrones

El preparado de Ra-Be de la fuente blindada de neutrones se encuentra encerrado en una envoltura de níquel doble e impermeable a las emanaciones Rn. Esta envoltura de níquel se halla dentro de un cilindro grueso de plomo, el cual se encuentra depositado sobre un recipiente metálico, sostenido con un soporte de hierro y relleno de parafina. Este recipiente termina sellado por debajo con tornillo especial, que no puede ser movido, sino únicamente por personas autorizadas. En el caso, muy improbable, de que ambas envolturas de níquel perdiesen impermeabilidad, las sustancias radiactivas desprendidas no podrán escaparse del bloque de parafina que posee un diámetro de 40 cm; además, que todo ese conjunto está protegido por un revestimiento exterior de unos 80 cm de diámetro. El revestimiento exterior está cubierto en su parte superior por una plancha la cual posee por encima de los canales de radiación, una tapa con llave de seguridad. El preparado está localizado un poco fuera del eje del cilindro. La capa de plomo y el revestimiento exterior están dispuestos de tal manera que la dosis/hora de la radiación - γ sea bastante pequeña y no sobrepase la máxima que es 0,6 r/h.

La fuente consta de siete agujeros o canales de irradiación con un diámetro de 3 cm y una profundidad de unos 30 cm. Los canales 1; 2; 3 y 4 están situados sobre un círculo de 7 cm de radio y cuyo centro es el preparado de Ra-Be. Los canales 5 y 6 distan 14 cm del preparado; el canal 7 dista 20 cm del centro. Este último queda cerca al revestimiento protector. Detrás del canal seis y sobre la parafina, se halla un segmento removible, el cual se puede extraer para colocar en su lugar una bolsa plástica impermeable que se puede llenar con diferentes sustancias, a fin de investigar la reflexión y absorción de neutrones térmicos. El sitio marcado con equis (X) es el lugar donde debe colocarse el experimentador.

De un preparado de Ra-Be con 3 mg de Ra, se desprenden 5×10^4 neutrones rápidos por segundo, que son retardados por la parafina de la fuente de neutrones, hasta una velocidad térmica. En los canales 1; 2; 3 y 4 la densidad del flujo de neutrones es de 100 neutrones/cm².seg; solamente acá se puede contar con una parte de neutrones rápidos; en cambio, en los canales 5; 6 y 7 no transita ningún neutrón

rápido. La densidad del flujo neutrónico (térmico) que atraviesa los canales 5 y 6 es de 50 y para el canal 7 obtenemos 25 neutrones/cm².seg.

Con este flujo de neutrones térmicos se logra obtener actividades que en ningún caso sobrepasar en el límite permitido (0,1 micrones).

Blindaje de Plomo

El blindaje de plomo es una práctica que está diseñado para proteger a las personas, equipos, y el medio ambiente de las radiaciones dañinas con el uso de plomo. El plomo es un metal muy denso que es capaz de detener radiación alfa, gamma y rayos X, aunque es menos efectivo en neutrones y radiación beta. El Blindaje de plomo en los ambientes donde la radiación está presente, está obligado por ley, debido a los códigos relativos a la salud ocupacional, y cuando no se requiere, blindaje contra la radiación se utiliza normalmente en cualquier caso, debido a preocupaciones de seguridad.

Contador de Geiger Muller

Un contador Geiger es un instrumento que permite medir la radiactividad de un objeto o lugar. Cuando una partícula radiactiva se introduce en un contador Geiger, produce un breve impulso de corriente eléctrica. La radiactividad de una muestra se calcula por el número de estos impulsos. (Ver figura N°12)

Está formado, normalmente, por un tubo con un fino hilo metálico a lo largo de su centro. El espacio entre ellos está aislado y relleno de un gas, y con el hilo a unos 1000 voltios relativos con el tubo.

Un ion o electrón penetra en el tubo (o se desprende un electrón de la pared por los rayos X o gamma) desprende electrones de los átomos del gas y que, debido al voltaje positivo del hilo central, son atraídos hacia el hilo. Al hacer esto gana energía, colisionan con los átomos y liberan más electrones, hasta que el proceso se convierte en un alud que produce un pulso de corriente detectable. Relleno de un gas adecuado,

el flujo de electricidad se para por sí mismo o incluso el circuito eléctrico puede ayudar a pararlo.

Al instrumento se le llama un contador debido a que cada partícula que pasa por él produce un pulso idéntico, permitiendo contar las partículas (normalmente de forma electrónica) pero sin decir nada sobre su identidad o su energía (excepto que deberán tener energía suficiente para penetrar las paredes del contador).

Bases Legales

Los aspectos legales que fundamentan esta investigación están contemplados en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), en la cual en su artículo 110 refleja:

El Estado reconocerá el interés público de la ciencia, la tecnología, el conocimiento, la innovación y sus aplicaciones y los servicios de información necesarios por ser instrumentos fundamentales para el desarrollo económico, social y político del país, así como para la seguridad y soberanía nacional.

Este artículo confirma el interés que el estado tiene por los avances tecnológicos y científicos como instrumentos para el desarrollo del país, por lo cual es necesario promover el potencial creativo y la participación de los estudiantes en el desarrollo de su propio aprendizaje a través de la realización de trabajos de investigación.

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

Naturaleza del Estudio

El presente trabajo está enmarcado dentro de la modalidad de Investigación de Campo de tipo Experimental. La investigación de campo está definida en el Manual de Trabajos de Grado de Investigación y Maestría y Tesis Doctorales de la UPEL (2005) como el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos cualquier enfoque de investigación (p. 14).

De igual manera, una investigación de tipo experimental es aquella que pretende llegar a la causa de un fenómeno, a través de un experimento. Su esencia es la de someter el objeto de estudio a la influencia de ciertas variables en condiciones controladas y conocidas por el investigador.

Al respecto, en el siguiente estudio se realizó una investigación experimental para determinar el periodo de semidesintegración de la plata en una moneda utilizada como muestra, a través del análisis por activación neutrónica. Se elaboró un diseño experimental para la activación de la plata, para la posterior determinación de su periodo de semidesintegración mediante el método científico, empleando papel milimetrado y semilogarítmico para su graficación.

Procedimiento de la Investigación

Formulación de Hipótesis

Variable de estudio.

Desintegración radiactiva de la plata

Hipótesis Conceptual. Es aquella que expresa una idea propuesta por el investigador para explicar o comprender la aparición de un fenómeno o problema en relación con otros fenómenos concretos, procesos, situaciones o factores. Se formula con base en el marco teórico aplicable al problema que se quiere investigar.

Definición Conceptual. Desintegración de la plata (Ag) por irradiación de neutrones proveniente de una fuente, el cual se define conceptualmente como un proceso espontaneo donde el número de núcleos que se desintegran en un intervalo de tiempo es directamente proporcional al tiempo y al número de núcleos existentes, y el ritmo con el cual una sustancia radiactiva emite partículas radiactivas disminuye exponencialmente con el tiempo.

Hipótesis de Trabajo. Es la hipótesis que responde a las inferencias o creencias del investigador, es decir, aquella que utilizará para dar una explicación al fenómeno investigado. La hipótesis de trabajo es operacional, ya que muestra cuantitativamente lo planteado en la hipótesis conceptual.

Definición Conceptual. Periodo de semidesintegración del isótopo de plata 110, el cual se define operacionalmente como las desviaciones por unidad de tiempo de la desintegración de un núcleo radiactivo empleando para ello un contador de pulsos.

Fases del Estudio

Con el objetivo de operacionalizar este estudio se procede al desarrollo de sus tres primeras fases, como son:

Primera Fase. Conceptualizar el análisis por activación neutrónica como método analítico para estudiar la desintegración radiactiva de la plata.

El propósito de esta primera fase fue definir los aspectos básicos relacionados al análisis por activación neutrónica como: Radioactividad, Partículas α y β , Rayos gamma, Series radiactivas, Captura neutrónica, Reacción nuclear, Desintegración radiactiva, Periodo de semidesintegración, Unidades de radiación. El conocimiento de dichos aspectos es necesario para un resultado favorable al realizar las mediciones, en el cual los factores que puedan afectar tanto a su exactitud como a su precisión hayan sido reconocidos y evaluados.

Segunda Fase. Realizar un protocolo experimental para la activación de la plata y determinación de su periodo de semidesintegración.

Concluida la primera fase, se desarrollo el diseño experimental y su ejecución en el cual se determino el periodo de semidesintegración del núclido plata-110 en una moneda de plata. Para ello la técnica empleada fue el análisis por activación neutrónica, para lo cual, se realizaron los siguientes pasos:

El cilindro de plata se introdujo en uno de los cuatro agujeros interiores de la fuente de neutrones. Después de un tiempo de activación de 60s, el cilindro de plata se saco lo más rápidamente posible de la fuente de neutrón y se coloco inmediatamente alrededor del tubo contador.

El tubo contador junto con el cilindro de plata activado, se introdujo en el blindaje de plomo. Se leen cada cinco segundos, las lecturas indicadas por el contador de pulsos hasta computar un tiempo total de 2 minutos. (Ver figura N°13 y 14)

Tercera Fase. Determinar el periodo de semidesintegración del núclido $Ag - 110$ en una cadena de plata.

Esta fase se correspondió con el análisis de los resultados del experimento mediante el procesamiento de los datos obtenidos y la verificación de dicho valor, considerando los márgenes de errores propios de todo procedimiento experimental.

Análisis de Resultados

Una vez obtenidos los datos (registro de mediciones) se procedió a tabular y graficarlos a fin de poder analizarlos e interpretarlos para elaborar las conclusiones que originaron la etapa experimental. Posteriormente se representaron las mediciones en papel milimetrado. En el eje de las ordenadas se representaron las desviaciones por unidad de tiempo y en el eje de las abscisas, el tiempo de desintegración. Finalmente se representaron nuevamente los resultados, en papel semi logarítmico. Se empleó para ello el programa Microsoft Office Excel 2007; programa que se utiliza para realizar cálculos, analizar información y visualizar datos en hojas de cálculos.

CAPITULO IV

RESULTADOS

Una de las variable a tomar en consideración en los resultados experimentales fue la radiación cósmica que al no estar bloqueada en su totalidad por el blindaje de plomo (solo bloquea con eficacia un 98 % de la radiación cósmica) el contador Geiger podía captar la diferencia; interferencia esta que influyo en la exactitud de los registros efectuados.

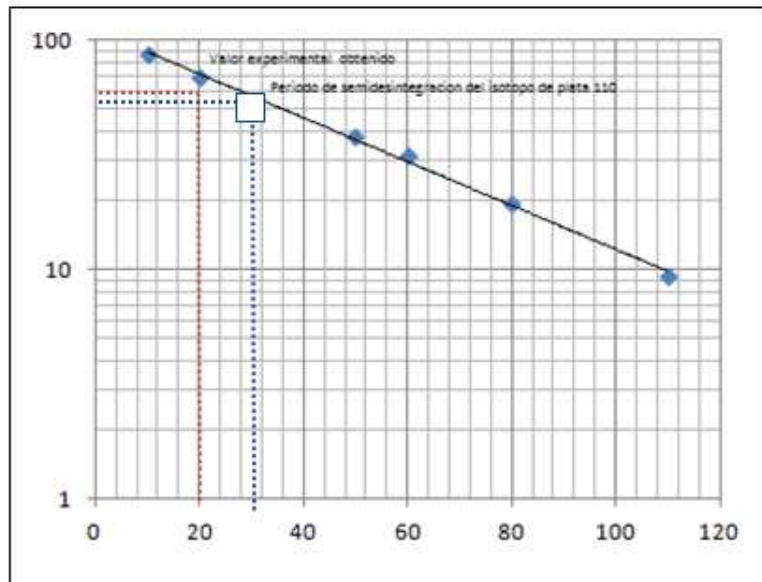
De esta manera una vez activado el cilindro de plata y restada la radiación cósmica de los datos obtenidos y cotejada la gráfica obtenida con los datos aportados por los estudios existentes en cuanto a la propiedad característica que representa el periodo de semidesintegración de los núclidos de la plata, se logro verificar que los resultados de las gráficas estaban dentro de los límites del error experimental.

Tabla 1. Resumen de los isótopos de la plata (Ag).

Z		Periodo de semidesintegración	Spin	Abundancia	Masa Atómica
47	Plata – 105	41,3días	1/2	0	105
47	Plata – 105m	7,2minutos	7/2	0	105
47	Plata – 106m	8,4días	6	0	106
47	Plata – 107	estable	1/2	51,82	106,9051
47	Plata – 108	2,39minutos	1	0	108
47	Plata – 108m	130años	6	0	108
47	Plata – 109	estable	1/2	48,18	108,9048
47	Plata – 109m	39,8segundos	7/2	0	109
47	Plata – 110	24,6segundos	1	0	110
47	Plata – 110m	249,8días	6	0	110
47	Plata – 111	7,47días	1/2	0	111

Tabla 2. Registro de datos de la activación de la plata (Cilindro de Plata).

Tiempo	10	20	50	60	80	110
Impulsos	86,33	69,33	38,33	31,33	19,33	9,33



Grafica 1: Registro de activación de la plata (Cilindro de Plata). Investigadores (2011)

El resultado obtenido experimentalmente está muy próximo al valor del periodo de semidesintegración del núcleo plata-110 (24,6 segundos). La inexactitud del valor medido respecto al valor real se debe a que todas las medidas están afectadas en algún grado por un error experimental debido a las imperfecciones del instrumento de medida, o las limitaciones impuestas por los sentidos del ser humano, que deben de registrar la información.

Un error experimental es una desviación del valor medido de una magnitud física respecto al valor real de dicha magnitud. Existen dos maneras de cuantificar el error de la medida:

a) Error absoluto. Es la diferencia entre el valor de la medida (f_m) y el valor tomado como exacto (f_r). Puede ser positivo o negativo, según si la medida es superior al valor real o inferior. Tiene unidades, las mismas que las de la medida.

$$e_{abs} = f_m - f_r = 20 - 24,6 = -4,6$$

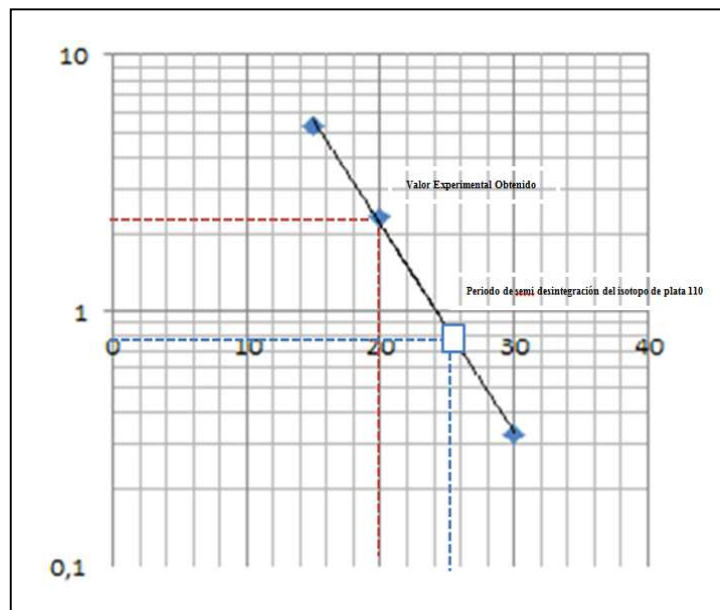
b) Error relativo: Es el cociente entre el error absoluto y el valor exacto . Si se multiplica por 100 se obtiene el tanto por ciento (%) de error. Al igual que el error absoluto puede ser positivo o negativo (según lo sea el error absoluto) porque puede ser por exceso o por defecto, no tiene unidades.

— —

Si se multiplica por 100 se obtiene el tanto por ciento (%) de error.

Tabla 3. Registro de datos de la activación de la plata (Moneda de Plata).

Tiempo	15	20	30
Impulsos	5,33	2,33	0,33



Grafica 2. Registro de activación de la plata (Moneda de Plata). Investigadores (2011)

El resultado obtenido experimentalmente está muy próximo al valor del periodo de semidesintegración del núclido plata-110. En cuanto a la determinación del error experimental se siguió el mismo procedimiento que para el cilindro de plata:

$$e_{abs} = f_m - f_r = 20 - 24,6 = -4,6$$

$$e_{rel} = \frac{e_{abs}}{f_r} = \frac{-4,6}{24,6} = -0,18699$$

$$e\% = 0,18699 \cdot 100 = 18,699\%$$

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El método por activación neutrónica es una técnica que es sensible en la determinación de muchos elementos, que se encuentran en bajas concentraciones en una gran variedad de materiales. Un conocimiento adecuado de esta técnica es necesario para poder obtener todo el potencial que dicha técnica ofrece, por lo cual es necesario considerar los siguientes aspectos: a) La reacción nuclear elegida depende no solo del isótopo y de la partícula de bombardeo, sino también de la muestra que va a ser analizada, b) La muestra debe ser preparada adecuadamente antes de ser irradiada. La persona que prepare la muestra debe extremar precauciones para no contaminarla, por lo cual la preparación debe hacerse en lugares limpios utilizando instrumentos libres de cualquier contaminante y guantes de plástico, c) El contenedor en el que se pondrá la muestra debe cumplir los siguientes requisitos: c.1) alta resistencia térmica como la radiación, c.2) bajo contenido en elementos que se vuelvan radiactivos, c.3) fácil de manejar.

En cuanto a la determinación del periodo de semidesintegración del núclido $Ag - 110$ en una cadena de plata, los resultados obtenidos son satisfactorios, ya que el error fue menor al 5%. Este error experimental se debe a las interferencias ya nombradas y a la proximidad de otras fuentes radioactivas presentes en el laboratorio y a la misma fuente de neutrones.

Recomendaciones

Es importante no sobrepasar el tiempo de activación de la plata de los *60segundos*, ya que de lo contrario el isotopo seria activado intensamente; lo que traería como consecuencia tener que extender el tiempo de medición a unos *300segundos*. En este caso se deberían leer las indicaciones del contador de pulsos cada *10segundos* hasta completar lecturas por un tiempo de *300segundos*.

Se debe tomar como precaución que una fuente blindada de neutrones no se debe colocar en el espacio usado normalmente, ya que alrededor de la misma existe un potencia de dosis de radiaciones gamma apreciable de unos *0,1mr/h*.

GLOSARIO

Átomo

Un átomo es la unidad más pequeña de un elemento químico que mantiene su identidad o sus propiedades, y que no es posible dividir mediante procesos químicos.

El núcleo representa el 99.9% de la masa del átomo, y está compuesto de bariones llamados protones y neutrones, rodeados por una nube de electrones, que en un átomo neutro igualan el número de protones.

Numero Atómico

Es el número entero positivo que es igual al número total de protones en el núcleo del átomo. Se suele representar con la letra *Z*. El número atómico es característico de cada elemento químico y en la tabla periódica los elementos se ordenan de acuerdo a sus números atómicos en orden creciente.

Número Másico

En química, el número másico o número de masa representa el número de los protones y neutrones. Se simboliza con la letra *A*. El número de masa es además el indicativo de los distintos isótopos de un elemento. Dado que el número de protones es idéntico para todos los átomos del elemento, sólo el número másico, que lleva implícito el número de neutrones en el núcleo, indica de qué isótopo del elemento se trata. El número másico se indica con un superíndice situado a la izquierda de su símbolo, sobre el número atómico. Por ejemplo, el ${}^1\text{H}$ es el isótopo de hidrógeno

conocido como protio. El ^2H es el deuterio y el ^3H es el tritio. Dado que todos ellos son hidrógeno, el número atómico tiene que ser 1.

Para todo átomo e ion:

Número de neutrones = Número másico (A) - Número atómico (Z)

$A = Z + N$ El número atómico siempre estará al lado del número másico.

Masa Atómica

Es la **masa de un átomo en reposo**. Se considera como la **masa total de los protones y neutrones en un átomo**.

Masa Molecular

La masa molecular es la suma de las masas atómicas de los elementos de una molécula.

Nucleído

Nucleído es el nombre genérico que se aplica a todos los átomos que poseen el mismo número atómico y el mismo número másico. Simbólicamente cada nucleído se representa por:



donde M es el símbolo del elemento químico al que pertenece, y A y Z, son sus números másico y atómico, respectivamente.

Dos nucleídos que difieren en el número másico pero tienen un mismo número atómico son especies de un mismo elemento químico. Se dice que estos dos nucleídos son isótopos de dicho elemento, por tanto, nucleído se refiere a considerar cada especie por sí misma, mientras que el concepto isótopo implica una relación de comparación.

Elemento

Un elemento químico es una sustancia pura que no se puede descomponer en otra sustancia más sencilla utilizando métodos químicos. Está formada por átomos que tienen igual cantidad de protones en el núcleo. Por ejemplo, todos los átomos con 6 protones en sus núcleos son átomos del elemento químico carbono, mientras que todos los átomos con 92 protones en sus núcleos son átomos del elemento uranio.

Molécula

Conjunto de átomos iguales (la molécula de oxígeno, que cuenta con dos átomos de oxígeno), o diferentes (la molécula de agua, que tiene dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno), unidos por enlaces químicos, que constituyen la mínima porción de una sustancia que puede separarse sin alterar sus propiedades.

Isotopo

Cuando dos átomos tienen igual número de protones, y pertenecen por lo tanto al mismo elemento químico, pero difieren en el número de neutrones, por lo cual tienen un número diferente de masa, son llamados isótopos.

Radioisótopos

Se llama radioisótopos a aquel isótopo que es radiactivo, ya que tienen un núcleo atómico inestable (por el balance entre neutrones y protones) y emiten energía y partículas cuando cambia de esta forma a una más estable.

Cada radioisótopo tiene un periodo de desintegración o semivida características. La energía puede ser liberada, principalmente, en forma de rayos alfa (núcleos de helio), beta (electrones o positrones) o gamma (energía electromagnética).

Fuerzas Fundamentales

Nuclear Fuerte

Es la fuerza más fuerte de la naturaleza y tiene, en principio, muy corto alcance, 1 fm. Es la responsable de las ligaduras nucleares. Entre hadrones se manifiesta mediante el intercambio de mesones, piones sobre todo. Pero la verdadera expresión de la nuclear fuerte ocurre en las uniones entre quarks mediante una partícula mediadora de fuerza llamada gluon que viene de "glue" que significa pegamento. Los gluones unen con tal firmeza a los quarks que hasta ahora no se les ha podido observar libres en la naturaleza sino que siempre aparecen ligados a, por lo menos, otro quark. Aquí la fuerza actúa con alcance infinito y aumenta con la distancia es decir cuanto más alejamos dos quarks más fuertemente se atraen. Dado que es una fuerza derivada de las atracciones entre quarks aquellas partículas que no están constituidas por éstos como son los leptones no se ven afectados por ella.

Nuclear débil

Es la fuerza de menor alcance, 1 am distancia ésta menor que el núcleo, es, además, cien mil veces más débil que la nuclear fuerte. Sus partículas mediadoras de fuerza son los bosones. Es la responsable de la mayoría de los procesos radiactivos.

Electromagnética

Esta es una fuerza de largo alcance, en realidad alcance infinito. Además es una fuerza muy fuerte tan solo cien veces más débil que la nuclear fuerte. Actúa entre

cargas eléctricas pudiendo ser repulsiva o atractiva según el signo de estas. La partícula mediadora de fuerza es el fotón. Es responsable de las ligaduras interatómicas así como de los propios electrones al átomo.

Gravitatoria

Débil y de largo alcance. Actúa sobre la masa y la energía. Siempre es atractiva. Totalmente despreciable en las reacciones nucleares ya que es 10^{38} veces más débil que la nuclear fuerte. Se cree, aunque no se ha probado aún, que podría tener un mediador de fuerza, el gravitón. Es la única fuerza que aún se explica mediante un modelo continuo en vez de uno cuantizado. Es la responsable de la atracción entre los objetos astronómicos.

Partículas

Una partícula de un cuerpo es la menor porción de materia de ese cuerpo que conserva sus propiedades químicas. Pueden ser átomos, iones, moléculas.

Las ***partículas elementales*** son los constituyentes elementales de la materia, más precisamente son partículas que no están constituidas por partículas más pequeñas ni se conoce que tengan estructura interna.

Una ***partícula compuesta*** es una partícula subatómica que está formada por un conjunto de partículas más elementales que forman juntas un estado ligado estable.

Una ***partícula subatómica*** es una partícula más pequeña que el átomo. Puede ser una partícula elemental o una compuesta, a su vez, por otras partículas subatómicas, como son los quarks, que componen los protones y neutrones.

Fermiones

Es uno de los dos tipos básicos de partículas subatómicas que existen en la naturaleza se caracterizan por tener spin semi-entero ($1/2, 3/2, \dots$). Se clasifican en:

Fermiones elementales

Quarks

Son partículas de espín $\frac{1}{2}$, siendo las únicas partículas fundamentales que interactúan con las cuatro fuerzas fundamentales.

Leptones

Es una partícula con espín $-\frac{1}{2}$ que no experimenta interacción fuerte (esto es, la fuerza nuclear fuerte). Esto quiere decir que no interactúan con otras partículas mediante la fuerza fuerte, por lo que no pueden formar hadrones. Existen seis leptones y sus correspondientes antipartículas: el electrón, el muon, el tau y tres neutrinos asociados a cada uno de ellos.

Fermiones Compuestos

Hadrones

Es una partícula subatómica que experimenta la interacción nuclear fuerte, esta compuestas por un número impar de fermiones elementales.

Bariones. Son una familia de partículas subatómicas formadas por tres quarks. Los más representativos, por formar el núcleo del átomo, son el neutrón y el protón; pero también existe otro gran número de bariones, aunque éstos son todos inestables. El nombre de barión se debe a que se creyó, cuando fue descubierto, que poseía una masa mayor que otras partículas. Son fermiones afectados por la interacción nuclear fuerte. Cada barión tiene su antipartícula correspondiente, el antibarión, donde los quarks son sustituidos por antiquarks y viceversa.

Núcleos Atómicos

Pueden ser también fermiones siempre que la suma de los fermiones elementales que lo forman sea impar.

Bosones

Son partículas subatómicas cuya característica fundamental es que su spin es de valor entero (0,1,2,3).

Bosones Elementales

Bosones Portadores

Son bosones elementales, es decir, partículas elementales de spin entero. Son partículas virtuales (carecen de masa) que actúan como intermediarias de cada uno de los cuatro tipos de interacciones fundamentales que sufre la materia.

Por ejemplo, el continuo intercambio de [gluones](#) entre dos quarks es el mecanismo que permite que estos permanezcan unidos para formar hadrones; el intercambio de fotones da lugar a la interacción electromagnética, y así sucesivamente.

Como bosones que son, una de sus características es poseer un spin de valor entero. En concreto, todos los bosones portadores poseen un spin igual a la unidad. Si bien el gravitón, aún no detectado, poseería un spin par.

Bosones Compuestos

Mesones

Es un hadrón con un spin entero, que responde a la interacción fuerte. Está compuesto por un quark y antiquark

Piones. Es el nombre común de tres partículas subatómicas descubiertas en 1947, se trata de partículas subatómicas compuestas (hadrones) de spin entero. Están formados por una pareja de quark y antiquark.

a). El pión positivo (π^+) está formado por un up (carga eléctrica de valor $+2/3$) y un antidown (carga eléctrica de valor $+1/3$).

b). El pión negativo (π^-) está formado por un antiup y un down (por lo tanto el mesón π^+ es la antipartícula del π^-).

c). El pión neutro (π^0) está formado por una pareja up-antiup o una pareja down-antidown; es su propia antipartícula.

Los piones con carga se desintegran en un muón (de carga igual a la del pión originario) y un neutrino mientras que el pión neutro, dada su extraña conformación, son partículas muy inestables, se aniquila a sí mismo dando origen a un par de rayos gamma. El muón se desintegra por su parte en un electrón (o positrón, dependiendo de la carga del muón), un neutrino de electrón y un neutrino de muón.

Se pueden producir por la colisión de nucleones (por ejemplo, colisión protón-antiprotón o colisión protón-neutrón). Se generan mayor o menor número dependiendo de la energía empleada.

Esto es debido a que el pión se puede producir también a partir de dos fotones, invirtiendo el proceso de desintegración

Núcleos

Los núcleos atómicos pueden ser fermiones o bosones según que la suma del número de fermiones elementales que lo forman sea impar o par. Por ejemplo, el núcleo de deuterio es un bosón, así como los núcleos de helio-4, también conocidos como partícula alfa.

Protón

El protón (en griego *protón* significa *primero*) es una partícula subatómica con una carga eléctrica de una unidad fundamental positiva ($+1,602 \times 10^{-19}$ culombios) y una masa de 1836 veces la masa de un electrón. El protón y el neutrón, en conjunto, se conocen como nucleones, ya que conforman el núcleo de los átomos.

El núcleo del isótopo más común del átomo de hidrógeno (también el átomo estable más simple posible) es un único protón. Los núcleos de otros átomos están compuestos de nucleones unidos por la fuerza nuclear fuerte. El número de protones en el núcleo determina las propiedades químicas del átomo y qué elemento químico es.

Los protones están clasificados como bariones y se componen de dos quarks arriba y un quark abajo. El equivalente en antimateria del protón es el antiprotón, el cual tiene la misma magnitud de carga que el protón, pero de signo contrario.

Neutrón

El neutrón es una partícula subatómica sin carga neta, presente en el núcleo atómico de prácticamente todos los átomos, excepto el protio. Aunque se dice que el neutrón no tiene carga, en realidad está compuesto por tres partículas elementales cargadas llamadas quarks, cuyas cargas sumadas son cero. Por tanto, el neutrón es un barión neutro compuesto por dos quarks de tipo abajo, y un quark de tipo arriba. Su masa es 1.838,4 veces mayor que la del electrón y 1,00137 veces la del protón.

El neutrón es necesario para la estabilidad de casi todos los núcleos atómicos. La interacción nuclear fuerte es responsable de mantenerlos estables en los núcleos atómicos.

El número de neutrones en un núcleo estable es constante, pero un neutrón libre, es decir, fuera del núcleo, se desintegra con una vida media de unos 1000 segundos, dando lugar a un protón, un electrón y un neutrino. En un núcleo estable, por el contrario, el electrón emitido no tiene la energía suficiente para vencer la atracción coulombiana del núcleo y los neutrones no se desintegran.

Neutrino

Los neutrinos son partículas subatómicas de tipo fermiónico, sin carga y espín 1/2. Desde hace unos años se sabe, en contra de lo que se pensaba, que estas partículas tienen masa, pero muy pequeña, y es muy difícil medirla. Hoy en día, se cree que la masa de los neutrinos es inferior a unos $5,5 \text{ [eV/c}^2 \text{]}^2$ lo que significa menos de una milmillonésima de la masa de un átomo de hidrógeno. Además, su interacción con las demás partículas es mínima por lo que pasan a través de la materia ordinaria sin apenas perturbarla. En todo caso, los neutrinos no se ven afectados por las fuerzas electromagnéticas o nuclear fuerte, pero sí por la fuerza nuclear débil y la gravitatoria.

Antineutrino

El antineutrino es la antipartícula correspondiente al neutrino, de masa unas diez mil veces menor que la del electrón, de spin 1/2 y perteneciente a la familia de los leptones; de la cual existen tres tipos: el antineutrino electrónico ($\bar{\nu}_e$), el antineutrino muónico ($\bar{\nu}_\mu$) y el antineutrino tauónico ($\bar{\nu}_\tau$) que se refieren a los tres tipos de neutrinos respectivamente.

Es una partícula de carga nula que se produce en procesos de desintegración beta. La interacción de los antineutrinos con la materia se produce sólo mediante la gravedad y la interacción nuclear débil, lo que hace que sean muy difíciles de detectar experimentalmente. Los experimentos de oscilación de neutrino muestran que los antineutrinos poseen masa, pero por la desintegración beta se comprueba que ésta es muy pequeña.

Electrón

Se conoce como electrón a la partícula sub-atómica elemental más ligera que constituye a los átomos y que presenta la mínima carga posible de electricidad negativa. La masa del electrón es unas 1.800 veces menor que la masa del protón.

Los electrones definen las atracciones entre los átomos y generan, a través de su movimiento, corriente eléctrica en la mayoría de los metales.

Positrón

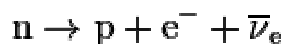
El positrón o antielectrón es una partícula elemental, antipartícula del electrón, posee la misma cantidad de masa y carga eléctrica sin embargo, esta es positiva. No forma parte de la materia ordinaria, sino de la antimateria, aunque se producen en numerosos procesos radioquímicos como parte de transformaciones nucleares.

Estado excitado

La excitación es una elevación en el nivel de energía de un sistema físico, por encima de un estado de energía de referencia arbitrario, llamado estado fundamental. La temperatura de un grupo de partículas es indicativa del nivel de excitación.

Neutrón Libre

Un neutrón libre es un neutrón que existe fuera de un núcleo atómico. Mientras que los neutrones pueden ser estables cuando están unidos dentro de los núcleos, los neutrones libres son inestables y se desintegran con una vida media de 886 segundos, unos quince minutos. La única posibilidad de desintegración es en un protón, un electrón y un antineutrino electrónico:



A pesar de no ser un elemento químico, el neutrón libre se incluye a menudo en tablas de isótopos. De ser el caso, se considera que posee un número atómico de cero y un número másico de uno.

Los reactores nucleares están diseñados para producir neutrones libres en grandes cantidades; su papel es el de mantener la reacción en cadena productora de energía. La radiación de neutrones intensa se usa también para producir diferentes radioisótopos a través del proceso de activación neutrónica.

Fotón

El fotón es la partícula elemental responsable de las manifestaciones cuánticas del fenómeno electromagnético. Es la partícula portadora de todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo a los rayos gamma, los rayos X, la luz ultravioleta, la luz visible (espectro electromagnético), la luz infrarroja, las microondas, y las ondas de radio.

El fotón tiene una masa invariante cero, y viaja en el vacío con una velocidad constante c . Como todos los cuantos, el fotón presenta tanto propiedades corpusculares como ondulatorias ("dualidad onda-corpúsculo"). Se comporta como una onda en fenómenos como la refracción que tiene lugar en una lente, o en la cancelación por interferencia destructiva de ondas reflejadas; sin embargo, se comporta como una partícula cuando interacciona con la materia para transferir una cantidad fija de energía, que viene dada por la expresión $E = \frac{hc}{\lambda}$ donde h es la constante de Planck, c es la velocidad de la luz, y λ es la longitud de onda. Esto difiere de lo que ocurre con las ondas clásicas, que pueden ganar o perder cantidades arbitrarias de energía.

Para la luz visible, la energía portada por un fotón es de alrededor de 4×10^{-19} joules; esta energía es suficiente para excitar un ojo y dar lugar a la visión.

El fotón no posee carga eléctrica y no se desintegra espontáneamente en el vacío. Los fotones se emiten en muchos procesos naturales, por ejemplo, cuando se acelera

una partícula con carga eléctrica, durante una transición molecular, atómica o nuclear a un nivel de energía más bajo, o cuando se aniquila una partícula con su antipartícula.

Rayos X

La denominación rayos X designa a una radiación electromagnética, invisible, capaz de atravesar cuerpos opacos y de imprimir las películas fotográficas. La longitud de onda está entre 10 a 0,1 nanómetros, correspondiendo a frecuencias en el rango de 30 a 3.000Phz (de 50 a 5.000 veces la frecuencia de la luz visible).

Los rayos X surgen de fenómenos extranucleares, a nivel de la órbita electrónica, fundamentalmente producidos por desaceleración de electrones. Los rayos X son una radiación ionizante porque al interactuar con la materia produce la ionización de los átomos de la misma, es decir, origina partículas con carga (iones).

Sal de Radio

Proviene del latín, radius que significa 'rayo', es un elemento químico de símbolo Ra y número atómico 88, es un elemento metálico radiactivo, blanco-plateado y químicamente reactivo. Pertenece al grupo 2 (o IIA) del sistema periódico, y es uno de los metales alcalinotérreos.

El radio 226, metal, funde a 700 °C, y tiene una densidad relativa de 5,5. El elemento se usa y se maneja en forma de cloruro o bromuro de radio, y prácticamente nunca en estado metálico.

El radio se forma por la desintegración radiactiva del uranio y, por tanto, se encuentra en todos los minerales de uranio. Está presente en la mena de uranio en la proporción de una parte de radio por tres millones de uranio.

De los isótopos del radio, de números másicos entre 206 y 232, el más abundante y estable es el isótopo con número másico 226. El radio 226 se forma por la desintegración radiactiva del isótopo del torio de masa 230, que es el cuarto isótopo

en la serie de desintegración que empieza con el uranio 238. La vida media del radio 226 es de 1.620 años. Emite partículas alfa, transformándose en radón gas.

Polvo de Berilio

Proviene del latín, radius que significa ‘rayo’, es un elemento químico de símbolo Ra y número atómico 88, es un elemento metálico radiactivo, blanco-plateado y químicamente reactivo. Pertenece al grupo 2 (o IIA) del sistema periódico, y es uno de los metales alcalinotérreos.

El radio 226, metal, funde a 700 °C, y tiene una densidad relativa de 5,5. El elemento se usa y se maneja en forma de cloruro o bromuro de radio, y prácticamente nunca en estado metálico.

El radio se forma por la desintegración radiactiva del uranio y, por tanto, se encuentra en todos los minerales de uranio. Está presente en la mena de uranio en la proporción de una parte de radio por tres millones de uranio.

De los isótopos del radio, de números másicos entre 206 y 232, el más abundante y estable es el isótopo con número másico 226. El radio 226 se forma por la desintegración radiactiva del isótopo del torio de masa 230, que es el cuarto isótopo en la serie de desintegración que empieza con el uranio 238. La vida media del radio 226 es de 1.620 años. Emite partículas alfa, transformándose en radón gas.

Radón

El radón es un elemento químico perteneciente al grupo de los gases nobles. En su forma gaseosa es incoloro, inodoro e insípido (en forma sólida su color es rojizo). En la tabla periódica tiene el número 86 y símbolo Rn. Su masa media es de 222, lo que implica que por término medio tiene $222 - 86 = 136$ neutrones. Igualmente, en estado neutro le corresponde tener el mismo número de electrones que de protones, esto es, 86.

Es un elemento radiactivo que se desintegra con la emisión de partículas energéticas alfa. Las partículas alfa emitidas por el radón son altamente ionizantes, pero tienen poco poder de penetración, tan poco que no son capaces de atravesar la piel o una simple mascarilla. Sin embargo, al ser inhalado el gas, ese escaso poder de penetración se convierte en un problema, ya que las partículas no consiguen escapar del organismo, y depositan toda su energía en él, pudiendo ocasionar lesiones o patologías de muy diversa gravedad según sea la cantidad de radón inhalado.

Plata

La plata es un elemento químico de número atómico 47 situado en el grupo 1b de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Ag. Es un metal de transición blanco, brillante, blando, dúctil, maleable.

Se encuentra en la naturaleza formando parte de distintos minerales (generalmente en forma de sulfuro) o como plata libre. Es muy escasa en la naturaleza, de la que representa una parte en 10 millones de corteza terrestre. La mayor parte de su producción se obtiene como subproducto del tratamiento de las minas de cobre, zinc, plomo y oro.

Tiene la más alta conductividad eléctrica y conductividad térmica de todos los metales, pero su mayor precio ha impedido que se utilice de forma masiva en aplicaciones eléctricas.

La plata natural se compone de dos isótopos estables Ag-107 y Ag-109, siendo el primero ligeramente más abundante (51,839%) que el segundo. Se han caracterizado veintiocho radioisótopos de los cuales los más estables son la Ag-105, Ag-111 y Ag-112, con periodos de semidesintegración de 41,29 días, 7,45 días y 3,13 horas respectivamente. Los demás isótopos tienen periodos de semidesintegración más cortos que una hora, y la mayoría menores que tres minutos.

El modo de desintegración principal de los isótopos más ligeros que el estable más abundante es la captura electrónica resultando isótopos de paladio, mientras que los

isótopos más pesados que el estable más abundante se desintegran sobre todo mediante emisión beta dando lugar a isótopos de cadmio.

El isótopo Pd-107 se desintegra mediante emisión beta produciendo Ag-107 y con un periodo de semidesintegración de 6,5 millones de años.

Plomo

El plomo es un elemento químico de la tabla periódica, cuyo símbolo es Pb y su número atómico es 82. Cabe destacar que la elasticidad de este elemento depende de las temperaturas del ambiente, las cuales distienden sus átomos, o los extienden, por lo cual, no se reconocía como un elemento metálico común por su gran elasticidad molecular.

El plomo es un metal pesado de densidad relativa o gravedad específica 11,4 a 16 °C, de color plateado con tono azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible.

El plomo puede encontrarse en muchos isótopos, siendo estables cuatro de ellos: ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , y ^{208}Pb .

Al ^{204}Pb se le conoce como Plomo primordial, y los ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb se forman por la desintegración radioactiva de dos isótopos del Uranio (U-235 y U-238) y un isótopo del Torio (Th 232).

El ^{210}Pb es un precursor del ^{210}Po en la serie de decaimiento del ^{238}U .

El ^{210}Pb es radioactivo.

Rayos Cósmicos

Son un tipo de radiación del espacio exterior formada por partículas subatómicas que impactan con la atmósfera a elevada energía. Contribuyen con un 10% a la dosis media por radiación que recibe un ser humano.

Los rayos cósmicos son partículas que llegan desde el espacio y bombardean constantemente a la Tierra desde todas las direcciones. La mayoría de estas partículas

son núcleos de átomos o electrones. Algunas de ellas son más energéticas que cualquier otra partícula observada en la naturaleza. Los rayos cósmicos ultra-energéticos viajan a una velocidad cercana a la de la luz y tienen cientos de millones de veces más energía que las partículas producidas por cualquier acelerador en el mundo.

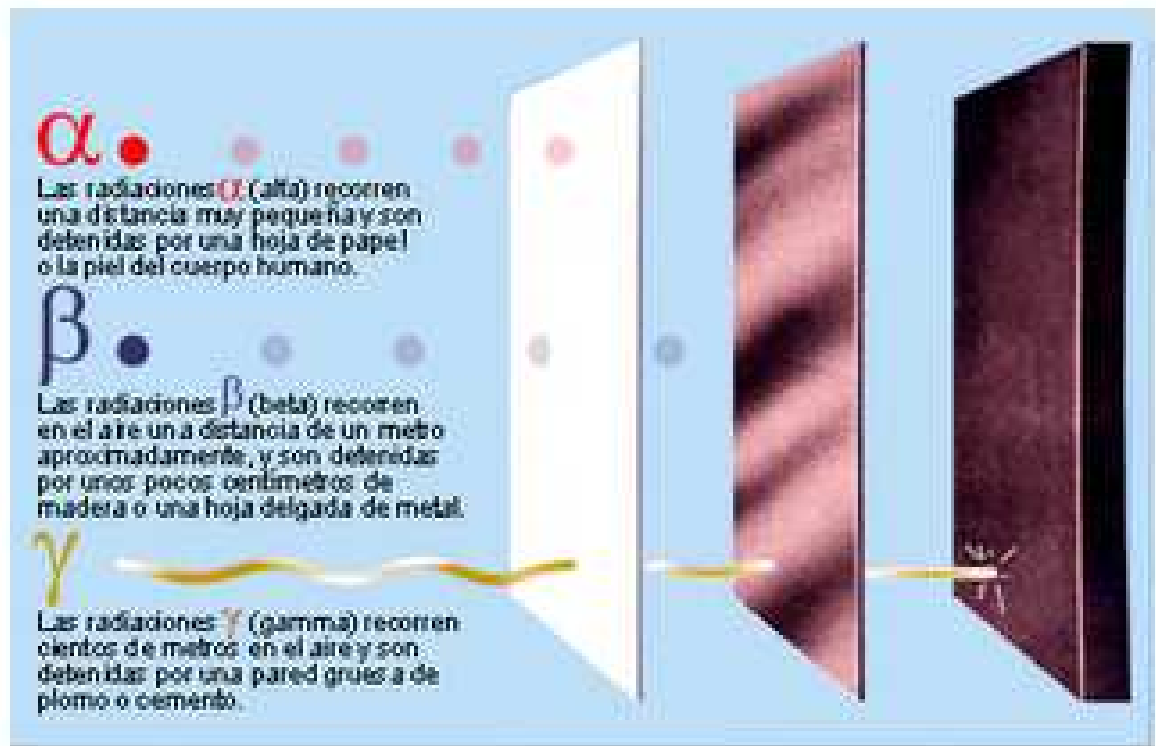
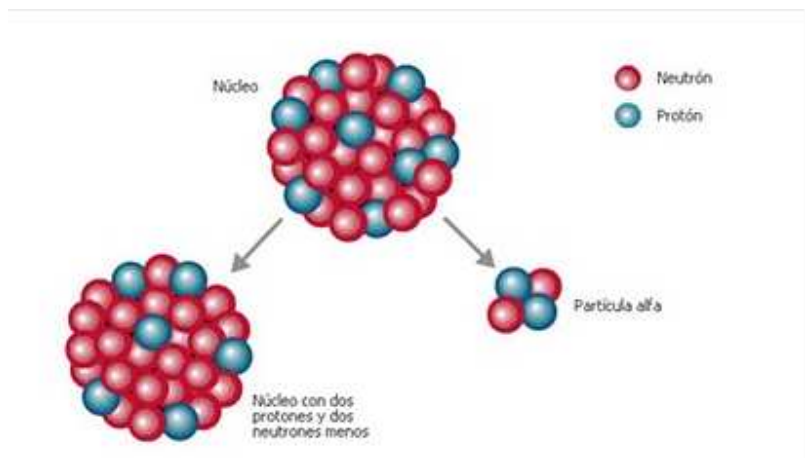


Figura 1. Radioactividad



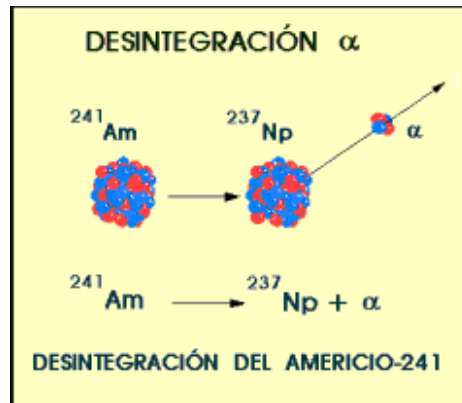


Figura 2. Partículas Alfa

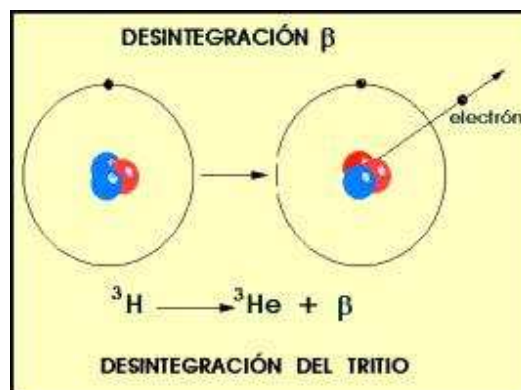
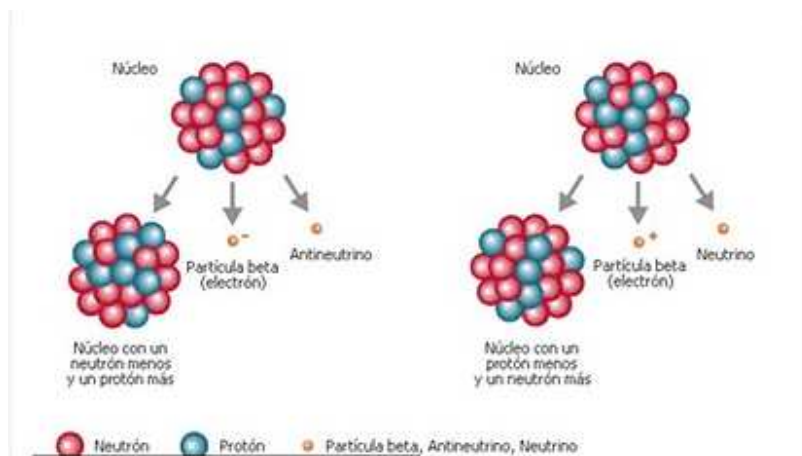


Figura 3. Partículas Be

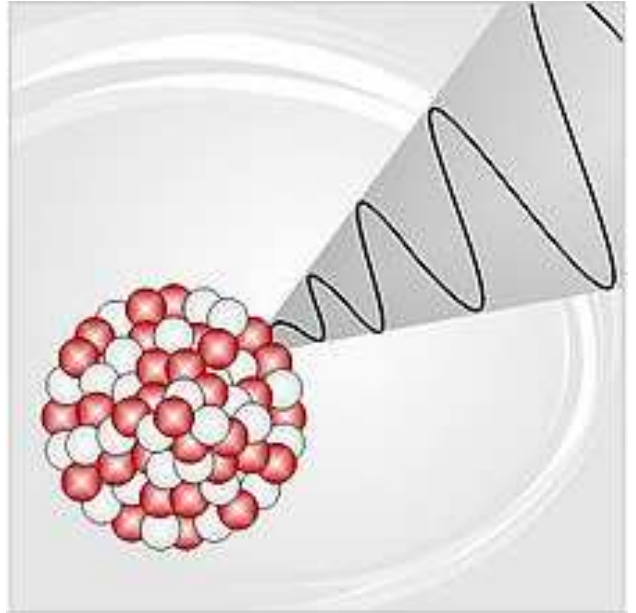


Figura 4. Rayos Gamma

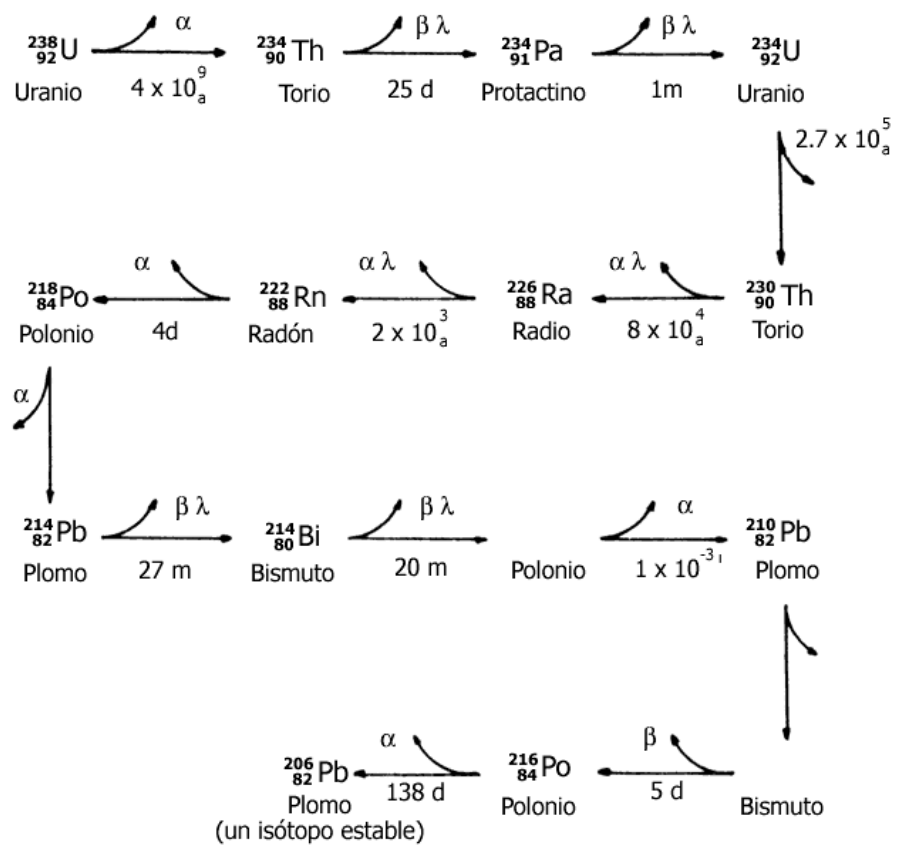


Figura 5. Series Radiactivas

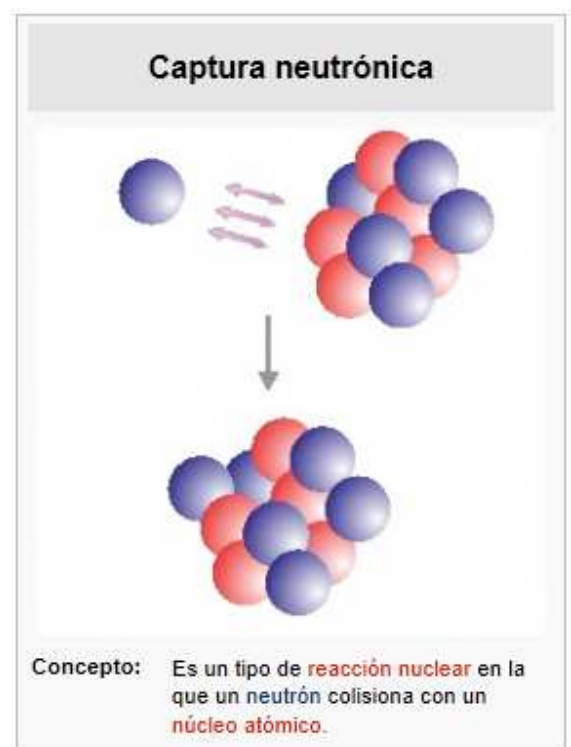


Figura 6. Captura Neutrónica

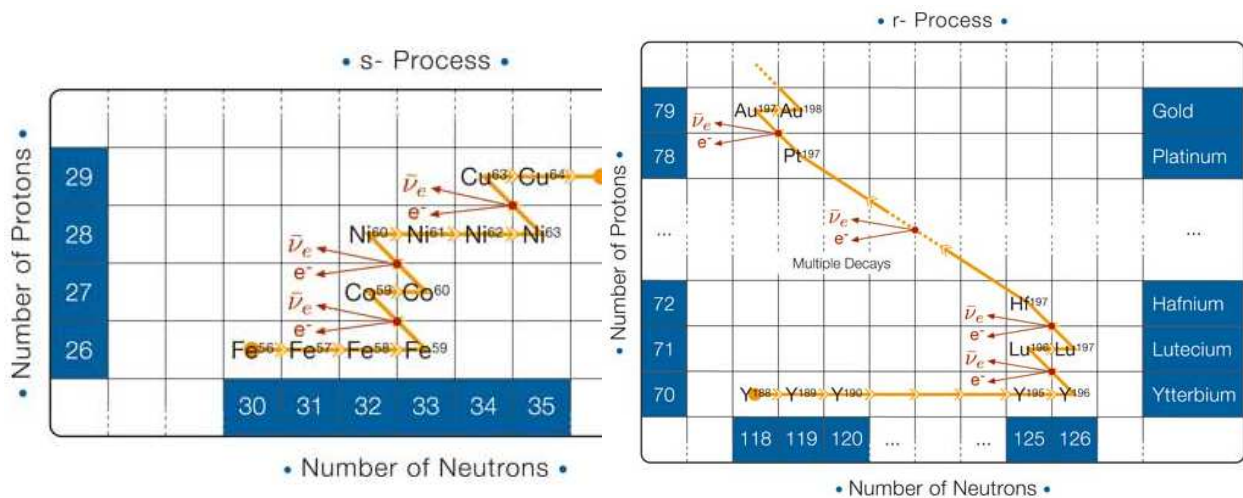


Figura 7. Proceso S y Proceso R “Captura Neutrónica”. Cada posición en la cuadrícula representa un núcleo diferente, con el número de neutrones en el eje horizontal y el número de protones en el eje vertical. Así pues, cada fila horizontal representa isótopos del mismo elemento. En las trayectorias señaladas, un paso a la derecha corresponde a un neutrón absorbido por el núcleo. Un paso en diagonal arriba y a la izquierda corresponde a una desintegración beta en la que un neutrón se transforma en un protón, emitiendo un electrón y un antineutrino. **Obsérvese que la trayectoria horizontal en el proceso tipo s es más corta que en el tipo r (en el tipo s se capturan menos neutrones) y, como consecuencia, el movimiento en la dirección vertical es también más corto (hay menos neutrones que puedan convertirse en protones).**

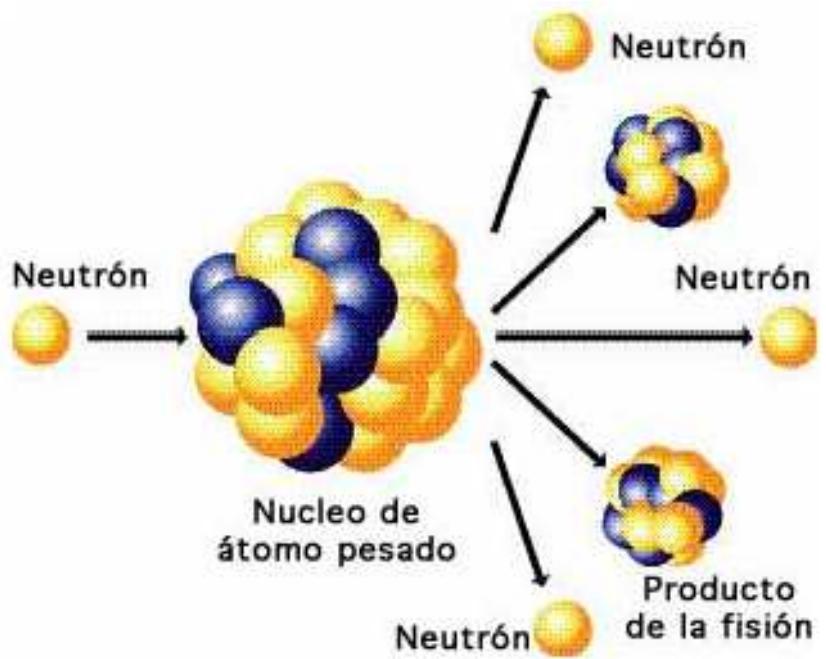


Figura 8. Fisión Nuclear

Reaccion de fusion del deuterio con el tritio.

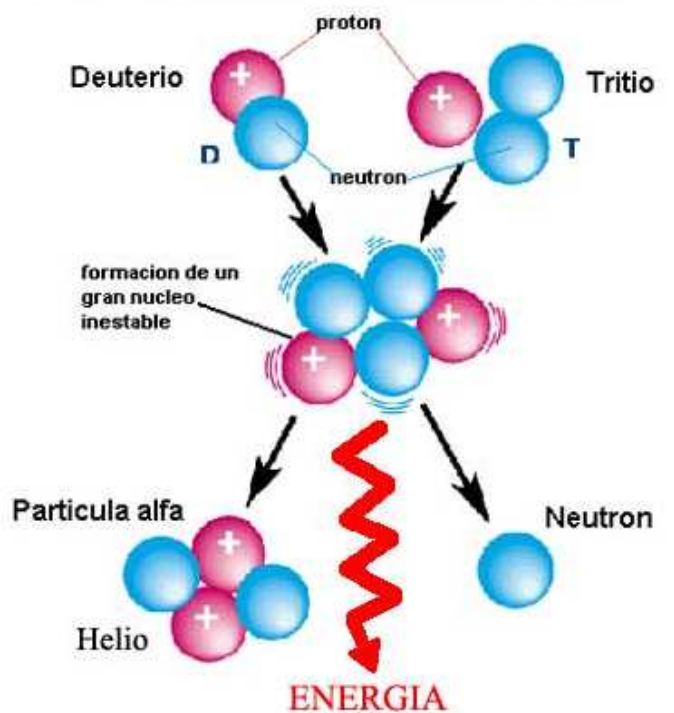


Figura 9. Fusión Nuclear

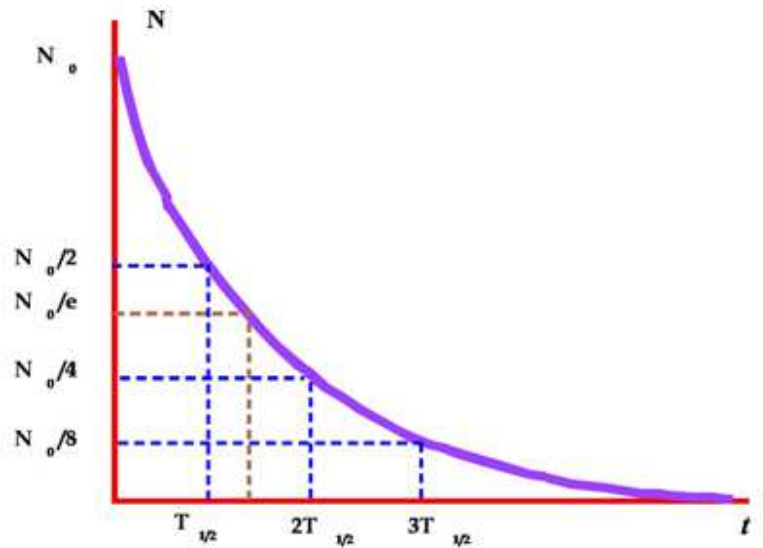


Figura 10. Desintegración Radiactiva

10.

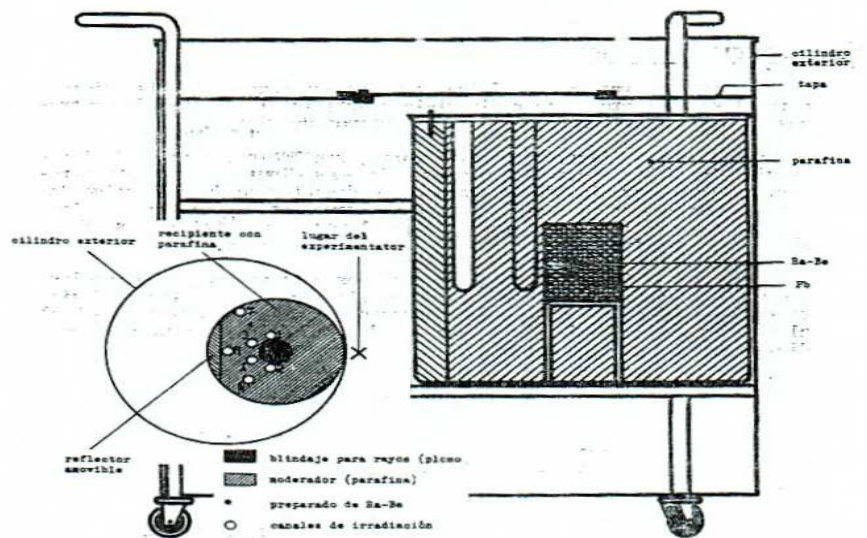


Fig. 2

Fig. 1

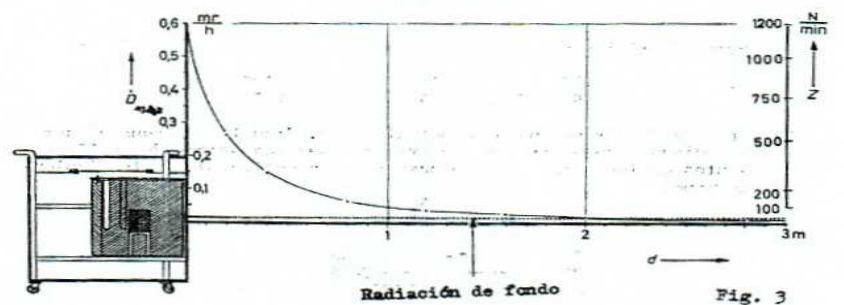


Fig. 3

Figura 11. Fuente de Neutrones

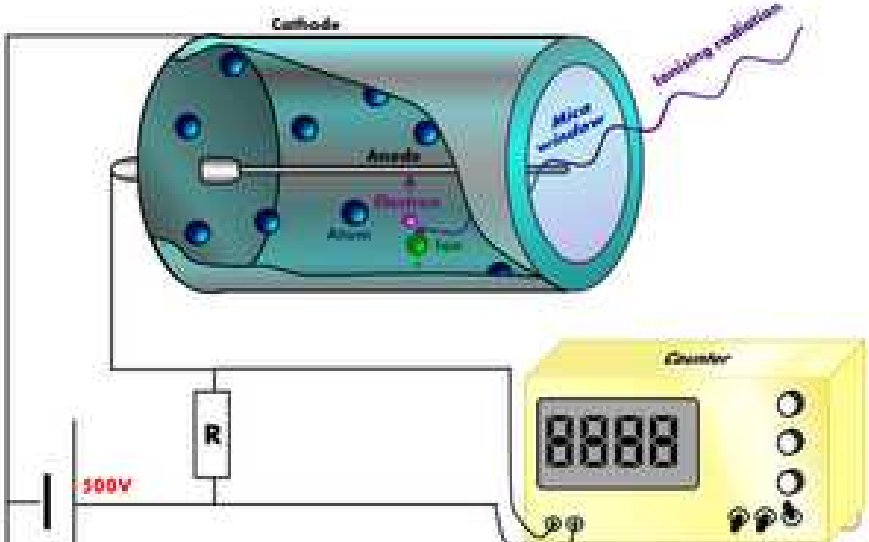


Figura 12. Contador Geiger Muller





Figura 13. Investigadores

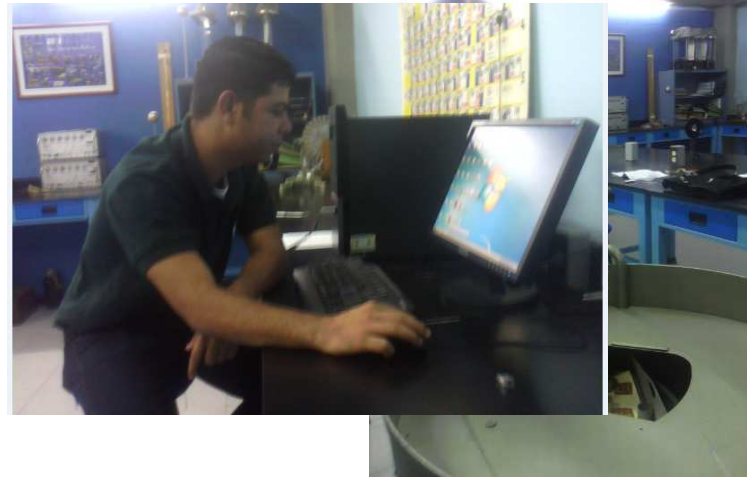


Figura 14. Investigadores