



**Universidad Nacional Autónoma de
Honduras**



Facultad de Ciencias

Carrera de Física

MANUAL DE CAPACITACIÓN EN RADIACIONES

Docente: M. Sc. Karen Elena López

Alumnos:

David Edgardo Altamirano Bulnes 20151000614

José Moisés Arias Núñez 20141003876

Última revisión

27 de mayo de 2023

Ciudad Universitaria

Índice

Índice	2
Índice de figuras	3
1. Introducción	4
2. Objetivos	5
3. Marco Teórico	6
3.1. Historia de la Radiactividad	6
3.2. Radiactividad	6
3.2.1. Estructura Nuclear	6
3.2.2. Carga y Masa	7
3.2.3. Experimento de Rutherford	7
3.2.4. Energía de Enlace Nuclear	8
3.2.5. Aspectos generales de la radiactividad	9
3.2.6. Fundamento Físico	10
3.2.7. Cadenas de desintegración	11
3.3. Medición de la Radiactividad	11
3.3.1. Cantidades de radiación y sus unidades	12
3.4. Procesos de Decaimiento Radiactivo	13
3.4.1. Decaimiento α	14
3.4.2. Decaimiento β	15
3.4.3. Decaimiento γ	15
3.4.4. Captura Electrónica	16
4. Recursos	16
4.0.1. Producción de radionúclidos	17
4.1. Los radionúclidos en el ambiente	18
4.1.1. Procedimiento Experimental	18
4.1.2. Procesamiento de Datos	20
5. Referencias	21

Índice de figuras

1.	Estructura Nuclear del Átomo	7
2.	Experimento de Rutherford	8
3.	Energía de enlace por cada nucleón en función del número de masa para nucleido.	9
4.	Funcionamiento del Contador de Geiger-Muller.	11
5.	Carta de Segré sobre procesos de decaimiento nuclear	14
6.	Montaje Experimental de Experiencia en Radiactividad	17
7.	Gráfico de conteos promedio de desintegración del Sr-90 en una escala de tiempos simulados	20

1. Introducción

La radiactividad es un fenómeno natural que se produce cuando ciertos núcleos atómicos inestables emiten radiación en forma de partículas o energía electromagnética. La radiación ionizante que emiten estos núcleos puede tener efectos dañinos en los seres vivos si no se maneja de manera adecuada. Por esta razón, el manejo seguro de las fuentes radiactivas y la protección de las personas expuestas son aspectos críticos en la industria nuclear, la medicina nuclear y en la investigación científica.

La radioprotección se refiere a las medidas y técnicas utilizadas para minimizar la exposición a la radiación y prevenir sus efectos adversos en la salud. En este contexto, es fundamental contar con una sólida formación en seguridad radiológica y una cultura de prevención para garantizar la protección de las personas y del ambiente en todas las actividades que involucren la manipulación de materiales radiactivos.

En el siguiente manual se detalla información relevante e importante sobre los fundamentos principales de la radiactividad, los procesos de decaimiento, manejo de radiactividad, radioprotección y el uso adecuado del equipo de laboratorio correspondiente al tema de radiactividad utilizando la Estación Nuclear ST-160.

2. Objetivos

- Introducir en los conceptos más importantes sobre radiactividad, su manejo y principios fundamentales.
- Brindar un sustento teórico sobre el manejo de las radiaciones y sus principales consecuencias.
- Ofrecer un apoyo teórico en el manejo del equipo de laboratorio con respecto al tema de radiactividad con la estación nuclear ST-160.

3. Marco Teórico

3.1. Historia de la Radiactividad

La historia de la radiactividad se remonta a fines del siglo XIX y principios del siglo XX, cuando se descubrieron los primeros indicios de la existencia de partículas radiactivas y la capacidad de los elementos químicos para emitir radiación. En 1896, el físico francés Henri Becquerel descubrió accidentalmente que el uranio emitía radiación al dejar una placa fotográfica cerca de una muestra de uranio. Poco después, Marie y Pierre Curie descubrieron que la pechblenda, un mineral que contiene uranio, emitía una radiación más intensa que el uranio puro. Identificaron dos nuevos elementos radiactivos, el polonio y el radio, que eran más radiactivos que cualquier otro elemento conocido hasta ese momento.

En los años siguientes, se descubrieron otros elementos radiactivos, como el torio, el radio y el actinio. También se descubrió que la radiactividad tenía diferentes formas, como la radiación alfa, beta y gamma, y que estos tipos de radiación tenían diferentes propiedades y efectos. En 1913, el físico danés Niels Bohr desarrolló la teoría cuántica del átomo, que explicaba la estructura interna del átomo y cómo la radiactividad estaba relacionada con la estructura del núcleo atómico. En la década de 1930, los científicos comenzaron a investigar la fisión nuclear, un proceso en el que se libera una gran cantidad de energía al dividir núcleos pesados en núcleos más ligeros.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los científicos trabajaron en la investigación y el desarrollo de armas nucleares, lo que llevó al desarrollo de la primera bomba atómica en 1945. Después de la guerra, la investigación en el campo de la radiactividad y la energía nuclear se expandió en áreas como la medicina nuclear, la producción de energía nuclear y la exploración espacial.

3.2. Radiactividad

La radiactividad es un fenómeno natural que se produce en los núcleos atómicos inestables. Los núcleos inestables pueden desintegrarse de diversas formas, emitiendo partículas subatómicas y/o radiación electromagnética.

De acuerdo con su capacidad para ionizar materia, la radiación puede clasificarse en radiación ionizante y no ionizante. Esta clasificación no es necesariamente una separación de radiación corpuscular y ondulatoria, formas de radiación ondulatoria pueden ser ionizante según su longitud de onda.

A su vez, la radiación ionizante puede ser indirecta o directa. La primera involucra partículas de carga neutra, la segunda involucra partículas eléctricamente cargadas. El mecanismo de ionización requerirá de dos pasos o interacciones al depositar la energía o una interacción columbiana según tratemos con partículas neutras o cargadas, respectivamente.

Para entender mejor las causas de la radiactividad, nos interesa entender la estructura nuclear y su naturaleza.

3.2.1. Estructura Nuclear

Todos los núcleos están constituidos por dos tipos de partículas: protones y neutrones. La única excepción es el núcleo del hidrógeno ordinario, que está constituido por un solo protón. El

núcleo atómico se describe con el número de protones y neutrones que contiene, utilizando las cantidades siguientes,

- el **número atómico** Z , que es igual al número de protones en el núcleo (conocido a veces como *número de cargas*);
- el **número de neutrones** N , que es igual al número de neutrones en el núcleo;
- el **número de masa** A $A = Z + N$, que es igual número de **nucleones** (neutrones más protones) en el núcleo.

Un **núclido** es una combinación específica del número atómico y el número de masa que representa un núcleo. Comúnmente se representa como A_ZX , donde X representa el símbolo químico del elemento.

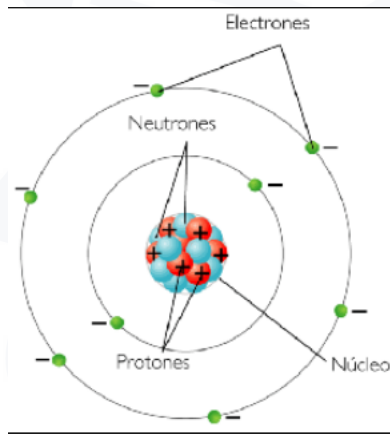


Figura 1: Estructura Nuclear del Átomo

3.2.2. Carga y Masa

El protón tiene una carga positiva individual e , igual en magnitud a la carga e del electrón ($e = 1.6 \times 10^{-19}\text{C}$). El neutrón es eléctricamente neutro, como implica su nombre.

Es posible medir las masas nucleares con gran precisión utilizando el espectrómetro de masas y mediante el análisis de las reacciones nucleares.

La **unidad de masa atómica** u , se define de forma tal que la masa de un átomo de isótopo ${}^{12}\text{C}$ es exactamente $12u$, donde $1u = 1.660539 \times 10^{-27}\text{kg}$. Según esta definición, el protón y el neutrón tienen cada uno una masa de aproximadamente $1u$, y el electrón tiene una masa que es solo una pequeña fracción de este valor.

3.2.3. Experimento de Rutherford

El experimento de Rutherford de colisiones, también conocido como el experimento de la lámina de oro, fue un experimento realizado por Ernest Rutherford, Hans Geiger y Ernest Marsden en 1909 para investigar la estructura interna del átomo. En el experimento, se dispararon partículas alfa (núcleos de helio) hacia una delgada lámina de oro. Los científicos esperaban que

las partículas alfa pasaran a través de la lámina de oro sin ningún desvío significativo, ya que en ese momento se creía que los átomos eran una masa uniforme y homogénea. Sin embargo, los resultados del experimento fueron sorprendentes: algunas de las partículas alfa se desviaron en ángulos inesperados, e incluso algunas fueron reflejadas hacia atrás.

Rutherford explicó estos resultados en términos de una estructura interna del átomo en la que la mayor parte de la masa del átomo estaba concentrada en un pequeño núcleo central, mientras que los electrones orbitaban a su alrededor en órbitas circulares. Según esta teoría, las partículas alfa se desviaron al encontrarse con el núcleo central cargado positivamente, mientras que la mayoría pasó a través de la lámina sin ser desviada, ya que la mayor parte del átomo es espacio vacío.

El experimento de Rutherford de colisiones fue un hito en la historia de la física y la química, y proporcionó la primera evidencia experimental directa de la estructura interna del átomo. Los resultados del experimento ayudaron a refinar la teoría atómica de la época y allanaron el camino para el posterior desarrollo de la física nuclear y la tecnología nuclear.

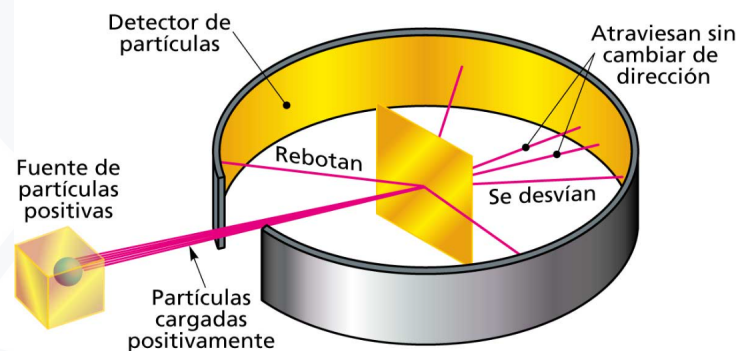


Figura 2: Experimento de Rutherford

3.2.4. Energía de Enlace Nuclear

La energía de enlace nuclear es la cantidad de energía necesaria para separar los nucleones (protones y neutrones) de un núcleo atómico. También se puede definir como la cantidad de energía liberada cuando los nucleones se unen para formar un núcleo. Esta energía es el resultado de la interacción fuerte, que es la fuerza que mantiene unidos a los nucleones dentro del núcleo. La energía de enlace nuclear varía de un núcleo a otro y depende del número de protones y neutrones en el núcleo. Los núcleos más ligeros tienen una energía de enlace nuclear más baja que los núcleos más pesados, lo que significa que es más fácil separar los nucleones de los núcleos más ligeros que de los núcleos más pesados.

La energía de enlace nuclear también es responsable de la liberación de energía en las reacciones nucleares, como la fisión nuclear y la fusión nuclear. En la fisión nuclear, se rompe un núcleo pesado en núcleos más ligeros, lo que libera una gran cantidad de energía, mientras que en la fusión nuclear, se unen núcleos ligeros para formar un núcleo más pesado, lo que también libera una gran cantidad de energía.

La relación de la conservación de energía y la equivalencia Einsteiniana de masa-energía muestran que la energía de enlace E_b en MeV de cualquier núcleo es:

$$E_b = [ZM(H) + Nm_n - M({}_Z^AX)] \times 931.494 \text{ MeV/u} \quad (1)$$

donde $M(H)$ es la masa atómica del átomo de hidrógeno neutro, $M({}_Z^AX)$ representa la masa atómica de un átomo del isótopo ${}_Z^AX$, m_n es la masa del neutrón y todas las masas están en unidades de masa atómica.

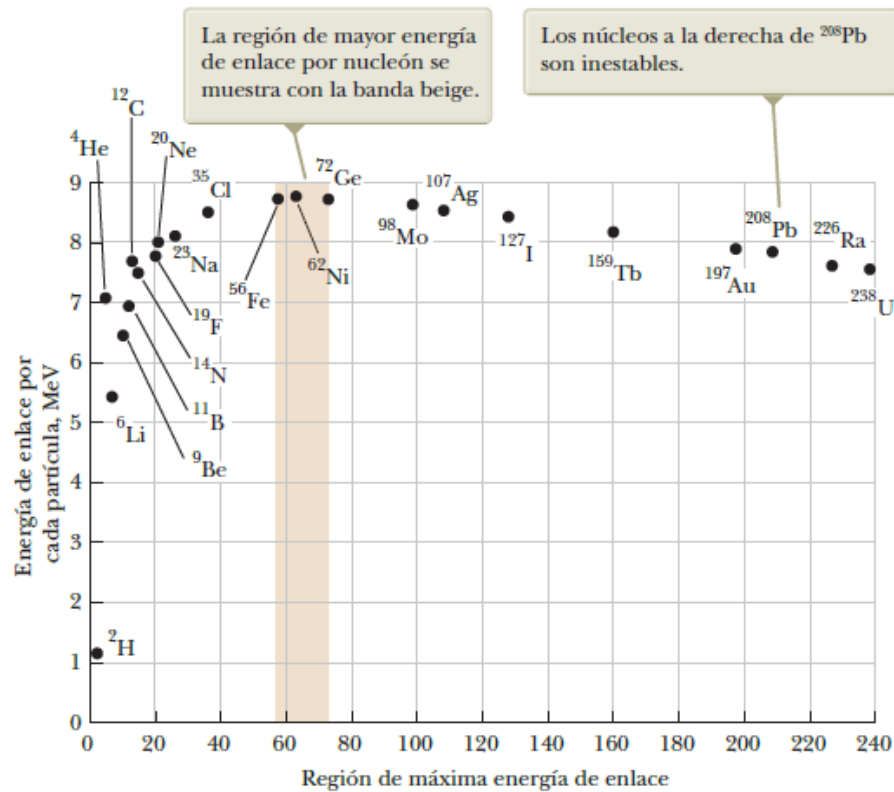


Figura 3: Energía de enlace por cada nucleón en función del número de masa para nucleido.

3.2.5. Aspectos generales de la radiactividad

Los procesos de desintegración nuclear se caracterizan, en general, por presentar los siguientes atributos:

- La ley matemática que describe el proceso de decaimiento radiactivo es la ley exponencial. La cual surge como consecuencia de resolver una ecuación diferencial de primer orden en el tiempo.
- Las sustancias que decaen por procesos nucleares se conocen como radionúclidos y se caracterizan por su número atómico y número másico. Pues su categorización, más allá de su identidad, radica en estos números.
- La estabilidad de un núcleo atómico, es decir, su tendencia a desintegrarse, fundamentalmente depende de su configuración física o estado energético. Estos pueden estudiarse partiendo de los números atómico y másico.
- Los procesos radiactivos implican una transición del radionúclido entre estados cuánticos. La energía liberada durante el proceso se conoce como energía de desintegración o

decaimiento y suele representarse con la letra Q . Esta energía puede manifestarse en el movimiento de partículas con masa, como electrones, o como radiación electromagnética.

- Existen modos o canales de desintegración, los cuales se caracterizan por los productos generados en el proceso de decaimiento. Algunas especies radiactivas pueden presentar más de un canal de desintegración, cada uno con una cierta probabilidad de ocurrir.
- Un proceso de decaimiento puede caracterizarse mediante la constante de decaimiento λ . Este parámetro es independiente de las condiciones ambientales de la sustancia, tales como la temperatura o la presión.

3.2.6. Fundamento Físico

El proceso de decaimiento es de naturaleza probabilística y es posible expresarlo mediante cálculos estadísticos en el caso de una sustancia radiactiva de tamaño macroscópico, que contiene un gran número de núcleos radiactivos. Para grandes cantidades, la rapidez a la cual se presenta un proceso particular de decaimiento en una muestra es proporcional al número de núcleos radiactivos presentes (es decir, el número de núcleos que aún no han sido objeto de decaimiento). Si N es el número de núcleos sin decaimiento radiactivos presentes en un momento determinado, la rapidez de cambio de N es:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2)$$

donde λ , conocida como la **constante de decaimiento**, es la probabilidad de decaimiento por cada núcleo por cada segundo. El signo negativo indica que N se va reduciendo con el transcurso del tiempo. La ecuación (2) puede ser descrita de la forma:

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

misma que al integrarse, da:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

donde N_0 representa la cantidad de núcleos radiactivos aun sin decaer en el instante $t = 0$. La ecuación (3) demuestra que la cantidad de núcleos radiactivos todavía sin decaer en una muestra se reduce exponencialmente con el tiempo.

La **rapidez de decaimiento** R , que representa el número de descomposiciones por cada segundo, puede obtenerse combinando las ecuaciones (2) y (3):

$$R = \frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = R_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

donde $R_0 = \lambda N_0$ es la rapidez de decaimiento en $t = 0$. La rapidez de decaimiento R de una muestra se conoce con frecuencia como su **actividad**.

Otro parámetro de utilidad para la caracterización del decaimiento nuclear es la **periodo de semidesintegración** $T_{1/2}$ definida como el tiempo durante el cual decae la mitad de un número conocido de núcleos radiactivos. Para encontrar una expresión para el periodo de semidesintegración, primero se sustituye $N = N_0/2$ y $t = T_{1/2}$ en la ecuación (3) para obtener:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

Al despejar para $T_{1/2}$ se puede obtener:

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (5)$$

Debe hacerse énfasis en que el periodo de semidesintegración no es lo mismo que la vida media. La **vida media** es el tiempo promedio en que los núcleos de una muestra decaen. Este tiempo es una propiedad estadística y no una propiedad de un átomo individual, en comparación al periodo de semidesintegración, que hace referencia al tiempo en el que la mitad de los núcleos han desaparecido.

3.2.7. Cadenas de desintegración

En ocasiones, un núcleo debe decaer a través de una serie de procesos radiactivos hasta alcanzar un estado cuántico energéticamente estable. Estos procesos se conocen como cadenas de desintegración. Un ejemplo típico de este es la desintegración del uranio-235, el cual sigue una larga cadena de decaimientos, pasando por varios núcleos hijos inestables con variantes modos de desintegración hasta alcanzar un isótopo estable de plomo.

Las cadenas de desintegración son de gran interés en la generación de energía eléctrica, en las centrales termonucleares, y en la radioprotección de grandes áreas de territorio.

Cada etapa del proceso se rige por la ley exponencial y el proceso completo se puede modelar usando un esquema conocido como *Ecuaciones de Bateman*.

3.3. Medición de la Radiactividad

El contador Geiger-Muller es un detector de radiación que contiene un gas que se ioniza al paso de la misma, de forma que cuenta el número de partículas o fotones independientemente de su naturaleza o de su energía.



Figura 4: Funcionamiento del Contador de Geiger-Muller.

El contador Geiger-Muller presenta diversas condiciones que se deben tomar en cuenta al realizar mediciones, entre ellas se pueden mencionar las siguientes:

- **Radiación de Fondo:** El contador Geiger-Muller no detecta solamente la radiación emitida por la fuente que se mida, sino que detecta toda la radiación que se encuentra en la naturaleza. Es necesario, por lo tanto, realizar mediciones para establecer un valor fijo para dicha radiación y poder despreciarla.
- **Tiempo Muerto:** Debido al funcionamiento del contador Geiger-Muller, existe un tiempo muy pequeño en donde este no puede registrar ninguna partícula. Este problema es intrínseco al dispositivo y solamente se puede realizar un ajuste para poder obtener el valor verdadero de conteos. Este problema afecta sobre todo en mediciones donde se contabilicen grandes cantidades de partículas (a partir de miles de partículas se evidencia una diferencia apreciable).
- **Zona Operativa:** Cada contador Geiger-Muller tiene un voltaje específico para poder detectar las partículas radiactivas. Abajo de este voltaje, los iones no generaran la corriente suficiente para poder detectarla y arriba de ese voltaje, los iones generaran una segunda generación de iones (ionización secundaria) que aumentará el conteo en las mediciones distorsionando los datos.

3.3.1. Cantidades de radiación y sus unidades

La radiación es un fenómeno físico medible. Hay distintas formas de cuantificar cuánta radiación es absorbida por un cuerpo. Según los fines del estudio, una forma de medir la radiación puede ser más conveniente que las demás. En este sentido, podemos hablar de las siguientes variables:

- Exposición X : dicta la habilidad que tienen los fotones para producir iones en el aire. Su unidad es el roentgen (R) y se computa como la proporción de carga eléctrica producida por unidad de kilogramo de aire.
- Kerma K : se define como la energía absorbida por las partículas cargadas en una cierta masa de absorbente. Se emplea para medir radiación ionizante indirecta. Su unidad es de joules sobre kilogramo, J/kg .
- Dosis D : es la energía absorbida por unidad de masa de un medio. Es de especial importancia en las aplicaciones clínicas de la teoría de las radiaciones. Su unidad es el gray Gy .
- Dosis equivalente H : diferentes tipos de radiaciones pueden provocar un mismo efecto con una dosis diferente. Cantidades iguales de rayos X y rayos gamma no tendrán el mismo efecto neto en un tejido, pero si una forma de radiación puede ser ajustada, entonces desempeñaría el mismo trabajo que la otra.
- Actividad A : dicta la tasa a la que una muestra radiactiva decae a través del tiempo. Se mide en becquerels o curies, Bq y Ci respectivamente. Es de suma importancia en el estudio de sustancias radiactivas, pues esta tasa nos dice con qué frecuencia se están generando productos de desintegración en un intervalo de tiempo dado.

3.4. Procesos de Decaimiento Radiactivo

Los procesos de decaimiento radiactivo son reacciones nucleares en las que un núcleo inestable emite partículas o radiación para alcanzar un estado más estable. Estos procesos pueden ocurrir de diferentes maneras y producir diferentes tipos de radiación, que se clasifican en tres tipos principales: alfa, beta, gamma y captura electrónica.

- **Decaimiento α :** Un núcleo que emite una partícula $\alpha(^4_2\text{He})$ pierde dos protones y dos neutrones. Por tanto, el número atómico Z se reduce en 2, el número de masa A disminuye en 4 y el número de neutrones disminuye en 2.
- **Decaimiento β :** Cuando un núcleo radiactivo se somete a decaimiento beta, el núcleo hija contiene el mismo número de nucleones que el núcleo padre, pero el número atómico cambia en 1, por lo que el número de protones también cambia.
- **Decaimiento γ :** Con mucha frecuencia un núcleo sometido a decaimiento radiactivo queda en un estado de energía excitado. En tal caso, el núcleo puede someterse a un segundo decaimiento a un estado de energía menor, quizá hasta el estado fundamental, mediante la emisión en un fotón de alta energía.
- **Captura electrónica:** Se presenta cuando un núcleo padre captura uno de sus propios electrones orbitales y emite un neutrino. El producto final después de la desintegración es un núcleo cuya carga es de $Z - 1$.

Aparte de estos procesos, otros aspectos de la naturaleza nuclear de interés son la fisión espontánea, decaimiento por emisión de protones y de neutrones.

En todos los procesos nucleares existe una serie de leyes de conservación que deben ser respetadas. Una lista de variables físicas debe mantenerse en el mismo valor antes y después del proceso, estas son:

- Energía total
- Momento lineal
- Carga eléctrica neta
- Número atómico
- Número másico (total de nucleones en el sistema).

La energía de desintegración en un proceso puede calcularse a partir de las masas del padre, el hijo y las partículas emitidas en el proceso.

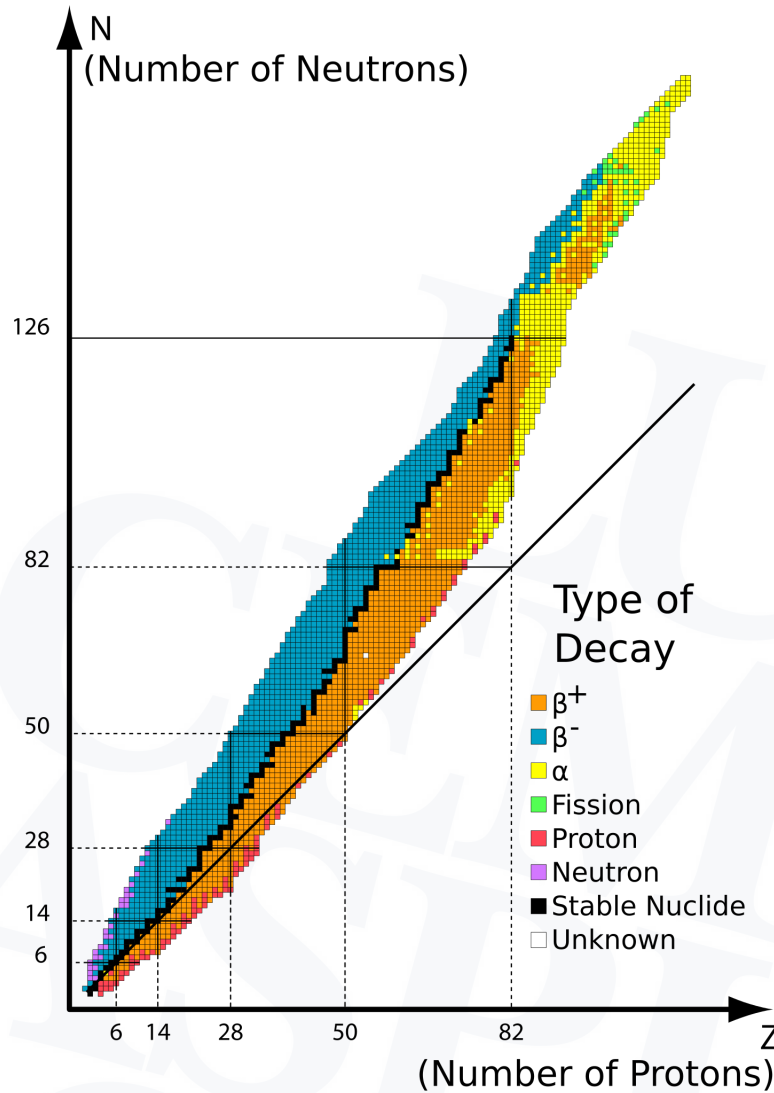


Figura 5: Carta de Segré sobre procesos de decaimiento nuclear

3.4.1. Decaimiento α

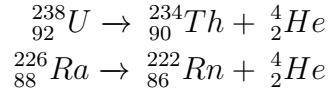
Un núcleo que emite una partícula α (${}^4_2\text{He}$) pierde dos protones y dos neutrones. Por tanto, el número atómico Z se reduce en 2, el número de masa A disminuye en 4 y el número de neutrones disminuye en 2.



donde X se conoce como el núcleo padre y Y el núcleo hija. Como regla general, para cualquier expresión de decaimiento como esta, (1) la suma de los números de masa A debe ser igual en ambos términos del decaimiento y (2) la suma de los números atómicos Z también debe ser igual en ambos términos del decaimiento.

Cuando el núcleo de un elemento cambia dentro del núcleo de otro, como ocurre en el caso del decaimiento alfa, el proceso se conoce como **decaimiento espontáneo**. Algunos ejemplos

se tienen como:



Para analizar la conservación de la energía en los procesos de decaimiento α por lo general se estudia la energía del sistema como el núcleo padre antes del decaimiento y la partícula α y el núcleo hija después:

$$\Delta E_R + \Delta K = 0 \quad (7)$$

Si se identifica M_X como a la masa del núcleo padre, M_Y como la masa del núcleo hija y M_α como la masa de la partícula α , la **energía de desintegración** Q del sistema se define como:

$$Q = -\Delta E_R = (M_X - M_Y - M_\alpha)c^2 \quad (8)$$

La energía Q está en joules cuando las masas se dan en kilogramos y c es la velocidad de la luz, es decir, $3.00 \times 10^8 \text{m/s}$. Sin embargo, cuando las masas se expresan en la unidad de masa atómica u, es posible calcular Q en MeV con la expresión:

$$Q = -\Delta E_R = (M_X - M_Y - M_\alpha) \times 931.494 \text{MeV/u} \quad (9)$$

3.4.2. Decaimiento β

Cuando un núcleo radiactivo se somete a decaimiento beta, el núcleo hija contiene el mismo número de nucleones que el núcleo padre, pero el número atómico cambia en 1, por lo que el número de protones también cambia:



en donde, e^- representa un electrón, e^+ un positrón, la antipartícula del electrón y ν y $\bar{\nu}$ representan el **neutrino** y el **antineutrino**. Al decaimiento β con un electrón se le conoce como *beta* $-$ y con un positrón *beta* $+$.

3.4.3. Decaimiento γ

Con mucha frecuencia, un núcleo sometido a decaimiento radiactivo queda en un estado de energía excitado. En tal caso, el núcleo puede someterse a un segundo decaimiento a un estado de energía menor, quizá hasta el estado fundamental, mediante la emisión en un fotón de alta energía.



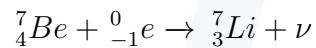
en donde X^* indica un núcleo en un estado excitado. La vida media representativa de un estado nuclear excitado es de 10^{-10} s. Los fotones emitidos durante procesos de des-excitación semejante son conocidos como rayos gamma. Estos fotones tienen una energía muy alta (1 MeV a 1 GeV), en relación con la energía de la luz visible (alrededor de 1 eV).

3.4.4. Captura Electrónica

La **captura de electrones**, se presenta cuando un núcleo padre captura uno de sus propios electrones orbitales y emite un neutrino. El producto final después de la desintegración es un núcleo cuya carga es de $Z-1$.



En la mayor parte de los casos, el electrón capturado está en la capa K, por esta razón el proceso se conoce como **captura K**. Un ejemplo es la captura de un electrón por ${}^7_4\text{Be}$:



Ya que el neutrino es tan difícil de detectar, la captura de electrones se observa mediante los rayos X producidos a medida que los electrones de capas superiores caen en cascada hacia adentro para llenar el hueco creado en la capa K.

4. Recursos

Para el desarrollo de la práctica de laboratorio se cuenta con la Estación Nuclear ST-160 que incluye:

- Estación Nuclear ST-160
- 4 pastillas de Sr-90.
- Fuente de voltaje
- Placas de plástico
- Placas de Poli estireno
- Placas de Aluminio
- Placas de Plomo
- Contador de Geiger-Muller integrado.



Figura 6: Montaje Experimental de Experiencia en Radiactividad

4.0.1. Producción de radionúclidos

Las sustancias radiactivas pueden encontrarse en la naturaleza en objetos comunes y mundanos como un plátano, hasta en reliquias y rocas en yacimientos. Pero también pueden producirse de manera artificial.

Las especiales radiactivas naturales forman parte de una de cuatro series conocidas como la serie del torio, del actínido, del neptunio y del uranio. Cada una originándose en un radioisótopo distinto, en el orden de antes serían: torio 232, uranio 235, neptunio 237 y uranio 238.

Los radionúclidos artificiales son producidos por el ser humano con diferentes propósitos: medicina, armas, investigación, procesos industriales, etc. Estos se obtienen mediante un mecanismo conocido como Activación Nuclear Inducida, el cual puede realizarse utilizando neutrones térmicos o rápidos; este proceso en particular se conoce como captura neutrónica o activación neutrónica y del núcleo activado se dice que fue enriquecido. Otra forma de inducir radiactividad en una muestra inerte es con protones; tal proceso se llama captura protónica o activación protónica. Finalmente, podemos inducir radiactividad mediante fotoactivación nuclear, que consiste en exponer una muestra a rayos X de altas energías.

Muchos radionúclidos empleados en la medicina, para el diagnóstico, cura o tratamiento

paliativo de enfermedades, son producidos en reactores nucleares o se obtienen de una de las series naturales antes mencionadas.

4.1. Los radionúclidos en el ambiente

Podemos encontrar sustancias radiactivas en diferentes condiciones en la naturaleza. En ese sentido, podemos hablar de sustancias

- **Primordiales:** se originaron antes de la formación de la Tierra misma.
- **Secundarias:** son productos o hijos de radionúclidos primordiales.
- **Cosmogénicas:** son continuamente producidas por los rayos cósmicos que inciden nuestro planeta.
- **Artificiales:** son todas las que se obtienen por la labor humana.

Es por esto que también existen diversas vías por las cuales las sustancias radiactivas entran en contacto con el ser humano: podemos interactuar con ellas por ingestión, inhalación o absorción por la piel.

Tanto el agua, como la atmósfera y las cadenas de alimentos están expuestas a radionúclidos naturales y artificiales.

4.1.1. Procedimiento Experimental

El contador Geiger-Muller presenta diversas condiciones que se deben tomar en cuenta al realizar mediciones, entre ellas se pueden mencionar las siguientes:

- **Radiación de Fondo:** El contador Geiger-Muller no detecta solamente la radiación emitida por la fuente que se mida, sino que detecta toda la radiación que se encuentra en la naturaleza. Es necesario, por lo tanto, realizar mediciones para establecer un valor fijo para dicha radiación y poder despreciarla.
- **Tiempo Muerto:** Debido al funcionamiento del contador Geiger-Muller, existe un tiempo muy pequeño en donde este no puede registrar ninguna partícula. Este problema es intrínseco al dispositivo y solamente se puede realizar un ajuste para poder obtener el valor verdadero de conteos. Este problema afecta sobre todo en mediciones donde se contabilicen grandes cantidades de partículas (a partir de miles de partículas se evidencia una diferencia apreciable).
- **Zona Operativa:** Cada contador Geiger-Muller tiene un voltaje específico para poder detectar las partículas radiactivas. Abajo de este voltaje, los iones no generaran la corriente suficiente para poder detectarla y arriba de ese voltaje, los iones generaran una segunda generación de iones (ionización secundaria) que aumentará el conteo en las mediciones distorsionando los datos.

En la siguiente práctica se intentará medir la cantidad de partículas emitidas conforme el material decae. Debido a que el Sr-90 tarda más de 28 años en decaer, se utilizarán placas como atenuadores que simularán periodos de tiempo. A continuación se explica a detalle cómo se realizará dicho procedimiento:

- Conectar el medidor ST-160 a una fuente de voltaje de 110 V.
- Encender el medidor ST-160. El botón de encendido está en la parte posterior del aparato.
- En el medidor ST-160 observaremos una serie de botones (COUNT, STOP, H.V., TIME, UP, DOWN), además de una pequeña pantalla, con los cuales haremos la configuración del equipo.
 - Busque el botón con las siglas H.V. (Alto Voltaje), luego presione el botón UP seguidamente configure el número hasta llegar a 380. Finalmente, presione de nuevo el botón H.V.
 - Presione el botón TIME, luego presione el botón UP hasta llegar a 20. Presione finalmente dos veces el botón TIME.
 - Con ello el medidor ST-160 está configurado. Cada vez que se presione el botón COUNT se detendrá pasados 20 segundos y mostrará en pantalla el dato de conteos (núcleos/segundos). Al volver a presionar el botón COUNT, el medidor volverá a dar los conteos desde cero. Cada vez que se realice una medición se presiona el botón nuevamente.
- Realizar una medición de la radiación de fondo. Esta se hará realizando una medición sin colocar ninguna pastilla radiactiva. Realice 5 mediciones y saque un promedio de las mediciones.
- Coloque dentro del panel del medidor una pastilla radiactiva de Sr-90, en la segunda ranura (de abajo hacia arriba).
- Medir la cantidad de conteos sin placa entre el medidor y la pastilla radiactiva. Realizar 5 mediciones y luego saque un promedio de las mediciones.
- Una vez realizadas las mediciones sin ninguna placa, tome 4 placas (una de cada material disponible) y colóquela en una ranura que esté arriba de la muestra de Sr-90. Tome nuevamente 5 mediciones.
- Repita este procedimiento para cada una de las placas siguientes.
- Espere aproximadamente 1 minuto cada vez que agregue una placa para realizar las mediciones.
- Una vez tomados los datos, apague y guarde debidamente el equipo.

4.1.2. Procesamiento de Datos

- En la muestra utilizada está registrada la vida media (en años) del isótopo usado, convertir esta vida media a segundos y calcular la constante de decaimiento λ . Usando la ecuación (3), se obtiene:

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \quad (14)$$

- Calcule el tiempo transcurrido t en años de las muestras con base en el número de núcleos/segundos de cada placa.

$$t = t_0 - \frac{1}{\lambda} \ln(N/N_0) \quad (15)$$

Los datos recolectados de los conteos medios en la escala de tiempo simulado dictada por la ecuación 15, tendrían un comportamiento similar al del siguiente gráfico.

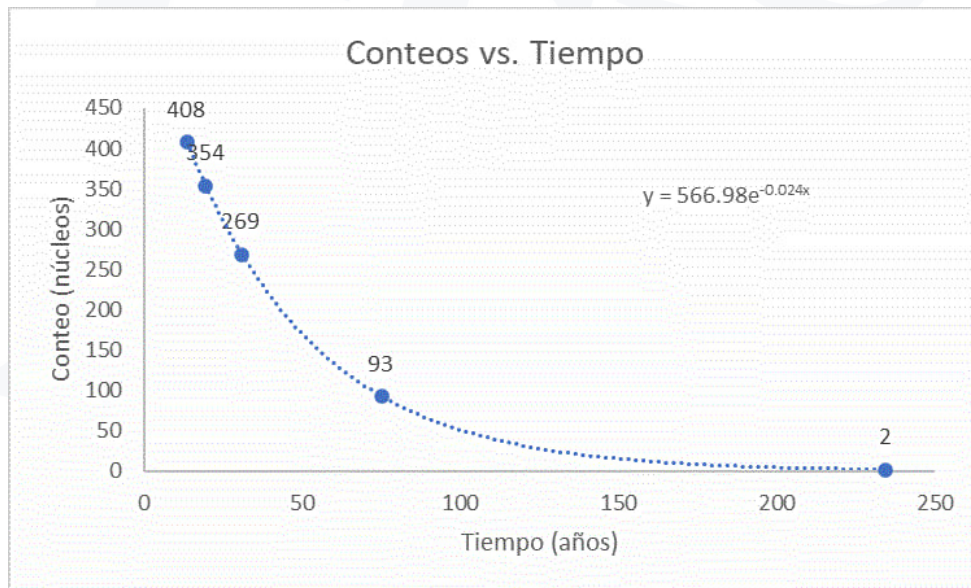


Figura 7: Gráfico de conteos promedio de desintegración del Sr-90 en una escala de tiempos simulados

La ecuación generada en la figura anterior describe el comportamiento del número de núcleos en la muestra empleada sobre un lapso de más de 200 años siguiendo un ajuste de la forma: $y = Ce^{-ax}$ donde C es una aproximación al número inicial de núcleos, N_0 y $a = 1/\lambda$ en unidades de años inversos.

5. Referencias

- [1] Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2009). Física para ciencias e ingeniería con física moderna. Cengage Learning Editores.
- [2] Serway, R. A., Moses, C. J., & Moyer, C. A. (2004). Modern physics. Cengage Learning.
- [3] Young, H. D. (2013). Sears y Zemansky física universitaria.
- [4] Podgorsâk, E. (2016). Radiation Physics for Medical Physicists. Springer.