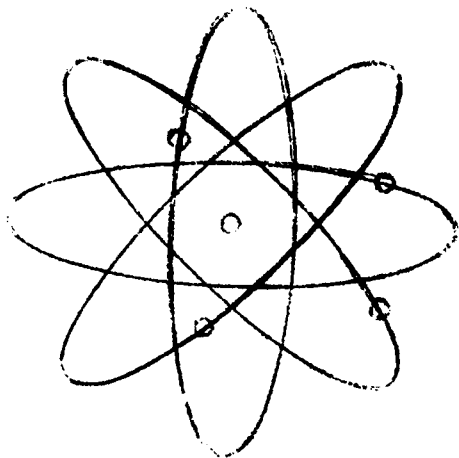


03.62.11

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1961

1961

Instituto de
Asuntos Nucleares



QUIMICA NUCLEAR
INSTITUTO DE ASUNTOS NUCLEARES
Bogotá, D. E.



Sonia J. Nassiff.

[illegible]

los errores que inevitablemente se cometieron en la -
impresión de estas prácticas de Laboratorio.

1. 凡在本行开立存款账户的客户，均可向本行申请开立支票。

QUIMICA NUCLEAR

PROGRAMA TEORICO

1) Estructura del átomo y núcleo

Diámetro atómico, electrónico y nuclear. Composición del núcleo. Número de masa. Número de carga. Nucleidos, isótopos, isóbaros, isótonos e isodifectos. Espectroscopia de masa. Masa isotópica precisa. Defecto de masa. Energía de unión nuclear. Unidades de masa atómica. El diagrama N, Z, A. Reglas de estabilidad. Números mágicos. Spin.

2) Radiactividad

La desintegración alfa, beta y la captura K. Esquemas de desintegración. Emisión de rayos gamma y neutrones. La transición isomérica. La conversión interna. Formulación matemática de la desintegración radiactiva. Decaimiento de un nucleido radioactivo a un descendiente activo. Relación de actividades de madre e hijas en los casos de equilibrio. Tiempo en que se alcanza la máxima actividad del primer descendiente. Ecuación general para el caso de n descendientes: Ecuación de Bateman. Representación gráfica de la solución. Las familias radiactivas naturales.

3) Interacción con la materia

Rayos alfa y otras partículas pesadas y con carga. Electrones. Colisio

nes elásticas y no elásticas. La absorción de electrones monoenergéticos, de negatrones y positrones. Rayos gama. El efecto fotoeléctrico. El efecto Compton. La producción de pares. Absorción y dispersión de la radiación gama.

4) Aparatos de medición

Placas nucleares. Cámaras de niebla. Cámaras de ionización. Medición de neutrones térmicos y rápidos. Contador Geiger-Müller. Contador proporcional. Contador "4". Detectores para líquidos. Aparatos auxiliares de medición. Contadores de centelleo. Diversos tipos de centelladores. Mediciones absolutas.

5) Unidades radioactivas

Curie-Rutherford-Roentgen. Equivalentes físico Roentgen. Equivalente mamífero Roentgen. Roentgen por hora a un metro.

6) Producción de partículas y de fotones.

Máquinas aceleradores. Fuentes naturales. Aceleradores lineales. Aceleradores en cascada. Aceleradores Van de Graaf. Ciclotrones. Sincrociclotrones. Reacciones Nucleares como fuente de partículas.

7) Reacciones nucleares

Notación. Energética de las reacciones nucleares. Determinación del - -
valor Q . Reacciones con partículas cargadas y la barrera de potencial.
Sección eficaz. Funciones de excitación. Tipos de reacciones. Reaccio -
nes inducidas por neutrones. Reacciones inducidas por deuterones, trito -
nes , protones, partículas α . Reacciones fotonucleares. Reacciones -
con partículas de muy alta energía.

8) Fisión nuclear

Fisión nuclear. Mecanismo de la fisión. Secciones eficaces y umbrales -
de fisión de algunos nucleidos. Productos de fisión. Distribución de masa
y carga de los productos de fisión. La fisión como fuente de neutrones. E-
nergía de fisión. Fisión espontánea.

9) Reactores nucleares

Fisión en cadena. Factor de multiplicación y otros factores importantes -
en la teoría de reactores. Reactores homogéneos y heterogéneos. Tama
ño crítico de un reactor. Potencia de un reactor. Clasificación de los - -
reactores. Aplicación de los reactores. Materiales que intervienen en la -
construcción de un reactor.

10) Protección en el manejo de radioisótopos

Proyecto de un laboratorio radioquímico. Efectos de las radiaciones so -
bre el cuerpo humano. Acción de fuentes externas. Rayos X y - -
Rayos X blandos. Partículas beta. Partículas alfa. Neutrones rápidos

y lentos. Ingestión e inhalación. Niveles de tolerancia. Manejo de radioisótopos. Elementos de protección. Control de seguridad.

11) Técnica de separación de nucleídos activos.

Distintas técnicas radioquímicas con empleo de portadores isotópicos. Coprecipitación y adsorción. Extracción por solventes. Destilación. Electroquímica. Electrodeposición. Separación por intercambio iónico. Cromatografía de papel. Método de Szilard Chalmers. Separación de isómeros. Separación por retroceso.

12) Producción de radioisótopos

Actividad específica. Procesos con y sin variación de carga. Procesos más importantes con ciclotrones y con reactores. Impurezas radioactivas y químicas. Emisores beta y gamma de importancia. La producción de ^{60}Co , ^{14}C , ^{32}P , ^{35}S , ^{45}Ca , ^{131}I , ^{22}Na , ^{24}Na , ^3H , RaD , RdTh , MsthL , Tc , At , Fr , Np , Pu . Productos de fisión importantes. Determinación de purezas radiactiva.

13) Aplicación de isótopos en la química

Análisis por activación. Análisis por dilución. Determinación de solubilidades. Aplicación de isótopos al desarrollo de nuevos procedimientos de separación. A la determinación de intercambios. Aplicación a la cinética química. Análisis de minerales activos.

14) Aplicación de radioisótopos a la técnica, industrias, medicina y biología.

Determinación de niveles de líquidos en tanques. Determinación de espesores. Medición de difusiones. Determinación rápida de corrosiones. Radiografías y autorradiografías. Aplicación de radioisótopos al metabolismo general. Isótopos aplicados a distintos trabajos bioquímicos. Análisis químicos. Terapia. Esterilización de alimentos y productos farmacéuticos. Determinación del volumen total del agua en el cuerpo humano. Determinación del volumen de sangre, del volumen del plasma, del volumen de glóbulos del cuerpo humano. Aplicaciones diversas en la agricultura, botánica, zoología, geología, y otras ramas de la ciencia. Aplicación de isótopos a fines bélicos.

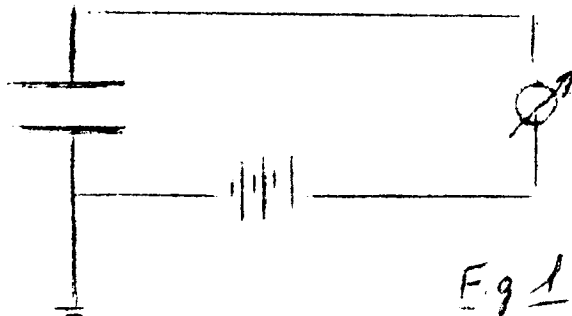
Práctica No 1

DETERMINACION DE LA CARACTERISTICA DE UN TUBO GEIGER-MULLER

INTRODUCCION

Las radiaciones nucleares se detectan y miden en general, aprovechando la propiedad que las mismas poseen de ionizar los gases. Los iones producidos en el gas por la radiación son recogidos en dos electrodos de polaridad opuesta, y la variación de voltaje producida se mide en un circuito externo.

Supondremos una cámara de ionización, esquematizada en la figura siguiente:



Al ser atravesado el gas por una partícula alfa o beta se formarán pares de iones, positivos y negativos. Con muy bajos potenciales, algunos iones positivos se dirigirán al cátodo y algunos negativos al ánodo. En estas condiciones, muchos iones no tendrán suficiente velocidad para llegar a los electrodos y se recombinarán; la corriente de ionización obtenida será entonces muy pequeña.

Si se aumenta el potencial aplicado, cada vez llegarán más iones a los electrodos y menos se recombinarán, aumentando en esta forma la corriente de ionización. Llegará un momento, si se tiene una fuente de actividad constante, a un determinado voltaje, en que todos los iones formados lograrán llegar a los electrodos, y la corriente de ionización alcanzará un valor constante durante un cierto intervalo de potencial aplicado. Este valor constante de la corriente de ionización, llamada corriente de saturación, da una medida directa de la velocidad de producción de iones en el volumen del gas.

Pasado el límite superior del intervalo de voltaje para la corriente de saturación, la corriente de ionización aumentará con el aumento de voltaje aplicado, hasta que irrumpa en descarga continua. Las corrientes de saturación producidas en las cámaras de ionización tienen valores bajos, por lo que se trata de utilizar otros instrumentos de detección.

Supondremos que se reemplazan los dos electrodos planos por un electrodo cilíndrico y un electrodo en forma de hilo central.

En el caso de electrodos en forma de planos paralelos, el gradiente de voltaje es el mismo en todo el espacio entre las placas, excepto en los extremos y está dado por la diferencia de potencial entre las placas dividido por la distancia entre las mismas.

En cambio, en el caso de un electrodo axial en forma de hilo que constituye el ánodo y un cátodo en forma de cilindro envolviendo el ánodo, el gradiente de voltaje no es uniforme, aumenta muchísimo en el hilo y su vecindad

Por ejemplo el caso de dos electrodos en que la distancia entre el centro del hilo y la pared del cilindro es de 1cm, el diámetro del hilo de 4×10^{-3} cm y la diferencia del voltaje aplicado de 1000 voltios, se tiene que , el gradiente entre pared e hilo es de 180 Volt/cm, mientras que el gradiente en el hilo y en un pequeño espacio que lo rodea es de $4,5 \times 10^4$ Volt/cm.

Ese condensador cilíndrico con el hilo central es la base del contador Ceiger Müller.

Esencialmente el contador es una cámara de ionización en la cual los electrodos son :un cátodo cilíndrico y un hilo delgado, generalmente de tungsteno, en la parte central del cilindro, que actúa como ánodo, En el cilindro se ha hecho el vacío y se ha llenado con una mezcla de argón y alcohol etílico. La presión total es aproximadamente de 10cm de Hg.

El cátodo se pone a tierra y el ánodo a un potencial positivo mayor.

Vamos a observar qué sucede a medida que aplicamos potenciales crecientes al tubo contador.

En la figura 2 el número de pares de iones recogidos para cada partícula ionizante es indicado sobre una escala logarítmica en función del voltaje aplicado. Las curvas I y II representan las condiciones para una partícula alfa y una partícula beta.

A) A muy bajos potenciales y la mayoría de los electrones se recombinan con los iones positivos y una carga muy pequeña es recogida por los electrodos.

B) Región de la cámara de ionización. U_n potencial de pocos voltios aplicados al contador, es suficiente para separar todos los pares de iones. Los electrones son todos recogidos en el ánodo, mientras que los iones positivos se mueven más lentamente hacia el cátodo. Para bajos potenciales el contador funciona como una cámara de ionización y todos los iones y los electrones llegan a los electrodos.

Nosotros vimos que el número de iones es constante para potenciales comprendidos entre pocos voltios a 200 voltios.

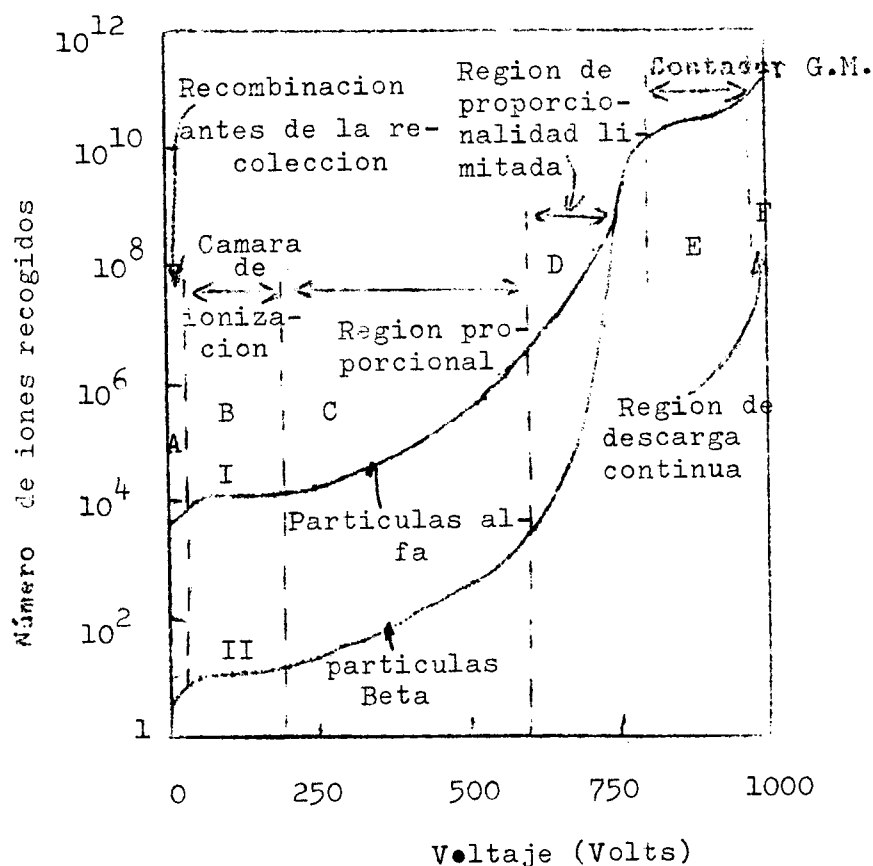


Fig. 2.

C) Región proporcional. Ahora, a potenciales del orden de 200 Voltios, algunos de los electrones que son acelerados por el campo entre los electrodos

todos alcanzan suficiente energía cerca del hilo central para producir ionización de los átomos del gas con los que chocan: una colisión produce un nuevo electrón y un ión positivo.

Ambos electrones son ahora acelerados hacia el hilo central, donde son eventualmente recogidos.

Cuando se aplican mas altos potenciales, nuevos electrones son capaces de hacer colisiones ionizantes. Los electrones secundarios producidos en estas colisiones tambien alcanzan suficiente energía para producir nuevas ionizaciones. El efecto es acumulativo, de manera que se produce una avalancha de electrones. Si sobre un promedio de cada electrón original pueden hacerse colisiones ionizantes en su trayectoria hacia el centro del hilo, el número final de electrones y iones positivos producidos es 2^n veces el número originalmente formado.

Para potenciales aplicados entre 80 y aproximadamente 600 Voltios el número (n) de colisiones ionizantes en un contador dado, depende solamente del potencial aplicado.

Hay así un factor de amplificación correspondiente a cada potencial aplicado, y el número de pares de iones recogidos en los electrodos es proporcional al número original formado por el pasaje de la partícula ionizante.

Esta proporcionalidad se observa en la fig 2 donde la distancia entre las curvas I y II, es constante en la región C. Los contadores que operan en esta región se llaman contadores proporcionales y se usan a menudo para

distinguir entre diferentes partículas, ya que la amplitud del pulso es proporcional al número de pares iones recogidos, siendo fácil distinguir entre partículas alfa y partículas beta por las amplitudes de los pulsos que ellos producen en el contador.

Partículas de la misma clase pero teniendo distintas energías pueden ser diferenciadas por este método si se usan equipos apropiados.

D) Región de proporcionalidad limitada. La carga total de un gran número de electrones y iones positivos es suficientemente grande para deformar el campo eléctrico dentro del contador.

El número de colisiones ionizantes que se producen a más altos potenciales están limitados por esta causa.

Para potenciales de 600 Voltios a 800 Voltios el contador opera en una región de proporcionalidad limitada.

E) La región del Geiger Müller. A alrededor de 800 Voltios el contador alcanza completa saturación.

Cada descarga se distribuye uniformemente a lo largo de todo el hilo central.

Un par de iones es suficiente para producir el número total de electrones y iones positivos.]

El número finalmente recogido es independiente del número inicial de pares de iones formados por la partícula ionizante, siempre que haya al menos uno.

A más altos potenciales la carga recogida por los electrodos permanece independiente del número de pares de iones inicialmente formados, a pesar de que la altura del pulso todavía aumenta (en forma ligeramente lineal) con el voltaje aplicado.

Esta zona es llamada la región del Geiger Müller. Los contadores Geiger Müller operan en esta región.

F) Descarga continua.

La región del Geiger Müller tiene un límite superior a altos potenciales, por la producción de más de una descarga por cada partícula, o por la descarga continua en el contador.

La descarga continua es debida a los fotones producidos en el ánodo cuando llega una avalancha de electrones. Estos fotones al golpear el cátodo son capaces de producir fotoelectrones, los que inician una nueva avalancha.

La nueva avalancha produce más fotones y el proceso continúa en una serie de avalanchas en rápida sucesión.

Se puede ver que la descarga se mantendrá por ella misma cuando el número de fotones producidos al final de una avalancha es justamente suficiente para producir un fotoelectrón en el cátodo.

Descargas continuas pueden producirse en algunos contadores antes que la región del geiger Müller sea alcanzada. Se trató de evitar este fenómeno, para lo cual se propusieron algunas modificaciones: una de las que se usa más frecuentemente es la introducción de un vapor orgánico junto con el

Argón.

Una de las propiedades del vapor, es absorber los fotones emitidos antes que puedan alcanzar el cátodo.

También se suelen utilizar vapores poliatómicos que eviten las descargas. Cuando se producen descargas, los vapores poliatómicos se transforman en moléculas más pequeñas que ya no actúan. Así en una descarga continua puede gastarse todo el vapor y por lo tanto quedar inutilizado el tubo. Generalmente los tubos contadores cargados con mezclas de alcohol y argón se agotan después de haberse registrado 10^8 cuentas.

En otros casos se utilizan campos electrónicos para evitar descargas continuas.

Para estudiar la zona del Geiger a fin de determinar el voltaje de trabajo, se hace uso de una fuente radioactiva de período de semidesintegración muy largo y se estudia la actividad de la misma en función del voltaje aplicado al tubo. Al gráfico obtenido se lo llama: característica del tubo. Al comienzo del orden de pocos cientos de Volts, los pulsos obtenidos no tienen la altura suficiente como para ser registrados.

Si se sigue aumentando la tensión llegará ésta a un valor en el cual el pulso de mayor amplitud logrará ser contado; a esta tensión se le llama tensión de entrada.

Por aumento del voltaje aplicado, mayor número de pulsos lograrán ser observados, y por lo tanto se traducirá en mayor actividad.

A partir de un determinado voltaje la actividad permanecerá prácticamente constante a pesar de que se continúa modificando la tensión, estamos en la meseta o "plateau" de la curva.

El "plateau" no es una recta paralela al eje de las x , sino que tiene una cierta inclinación y extensión que depende del tubo.

En tubos en buenas condiciones, el plateau tiene una inclinación de 2-4% en 100 voltios, y se extiende a lo largo de 200 voltios.

Si la tensión se aumenta mucho, la actividad observada crece rápidamente.

Algunas precauciones que hay que tener en el manejo de los tubos.

En general, el material con que están cargados los tubos se consume con el uso. Particularmente un tubo cargado con una mezcla de alcohol y argón, se destruye después de haber contado 10^8 o 10^9 cuentas, debido a que el alcohol se transforma posiblemente en aldehído. Esto no sucede con los tubos cargados con halógenos pues su material no se consume.

De lo precedente se desprende que, no debe tenerse conectado un tubo contador a la fuente de tensión si no se necesita hacer mediciones.

Cuando se tienen que hacer mediciones de un preparado a diferentes tiempos y no se desea variar la geometría del mismo, conviene dejar el preparado colocado en la posición a medir, y desconectar el tubo en los intervalos en que no se mide. Esto no es práctico en el caso de que el contador esté conectado al escalímetro por medio de un cable coaxial, en ese caso se puede co

locar sobre el preparado una lámina de absorción de Pb entre medición y medición.

Característica de un tubo Geiger Müller.

La tensión de trabajo se elige más o menos en la parte media del plateau. Los tubos contadores envejecen con el tiempo y cambian su característica; el punto de "comienzo del plateau" se corre hacia las tensiones más altas, la extensión del "plateau" disminuye y la inclinación aumenta.

Material

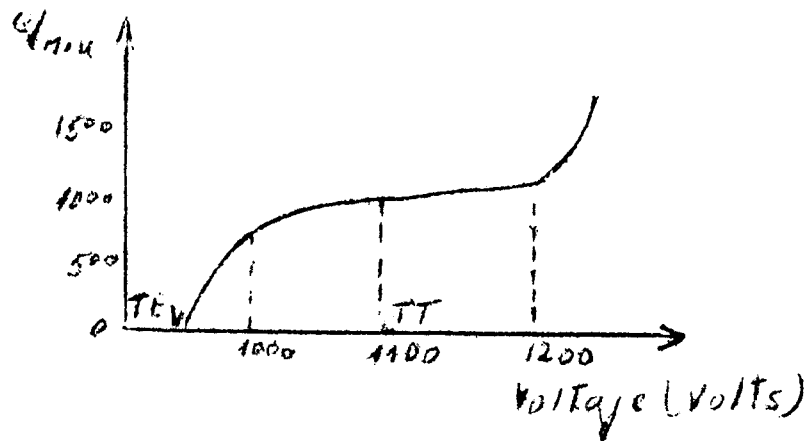
- 1) Standard de Uranio, que tenga una actividad aproximadamente de 1000 c/min., a la tensión de trabajo y en las condiciones usuales.
- 2) Un contador Geiger-Müller con su Escalfmetro.
- 3) Un cronómetro.
- 4) Papel milimetrado.

Práctica

Se comienza por colocar la fuente activa y teniendo el tubo conectado a la alta tensión se comienza a aumentar el voltaje, anotándose la tensión a la cual el tubo comienza a contar; Tensión de entrada. Se aumenta la tensión de entrada en 20 voltios y se determina la actividad del preparado a esa nueva tensión. Se siguen haciendo lecturas del preparado a tensiones que irán aumentando de 20 a 40 voltios, no conviene en general excederse de unos 200 a 250 voltios a partir de la tensión de entrada. Si después de haberse registrado el "plateau", por un aumento de voltaje aplicado se observase un aumento grande

de la actividad, es conveniente no continuar la característica. Habríase pasado ya el punto de la curva. Una vez dibujada la curva característica del tubo, se debe elegir la tensión de trabajo. En todas las determinaciones se debe acumular por lo menos 10.000 cuentas.

Dos lecturas se considerarán concordantes siempre que no varíen entre ellas en valores mayores que un 2%.



LA ESTADÍSTICA DE LAS DESINTEGRACIONES RADIOACTIVAS
INTRODUCCION

Nuestras mediciones radioquímicas tienen siempre por objeto :conocer el número de átomos presentes de un nucleído determinado , o bien conocer el número de átomos que se están desintegrando de ese nucleído en un determinado tiempo t .

Se sabe que el número de átomos de un nucleído presente en un intervalo de tiempo t está dado por $N=N_0 e^{-\lambda t}$.

Por otro lado el número de desintegraciones que se producen en ese instante t está dado por $-dN/dt = \lambda N$; siendo λ la constante de desintegración radioactiva, que indica la probabilidad de que se desintegre un átomo en la unidad de tiempo.

Por lo tanto la probabilidad de que se produzca una desintegración dentro de un intervalo de tiempo dt es: $N\lambda \cdot dt$ donde N es el número de átomos presentes.

Una desintegración no está relacionada con otra y ocurren a intervalos irregulares de tiempo. Por lo tanto si nosotros, con una fuente standard y en las mismas condiciones, repetimos la experiencia varias veces, el número de cuentas registradas variará de una observación a otra.

Sin embargo , si se mide un número muy grande de desintegraciones se puede obtener un valor medio que constituye la expresión aceptable para la actividad λN .

A fin de conocer la probabilidad de cometer un error de una magni-

nituidad dada en una determinación, nosotros debemos conocer la distribución de los resultados cuando una serie de sucesos casuales son contados durante intervalos iguales de tiempo τ .

Esto fué estudiado por Poisson quien encontró la distribución conocida por su nombre.

Las condiciones que exige la aplicación de la ley de Poisson son:

1-que el fenómeno sea casual.

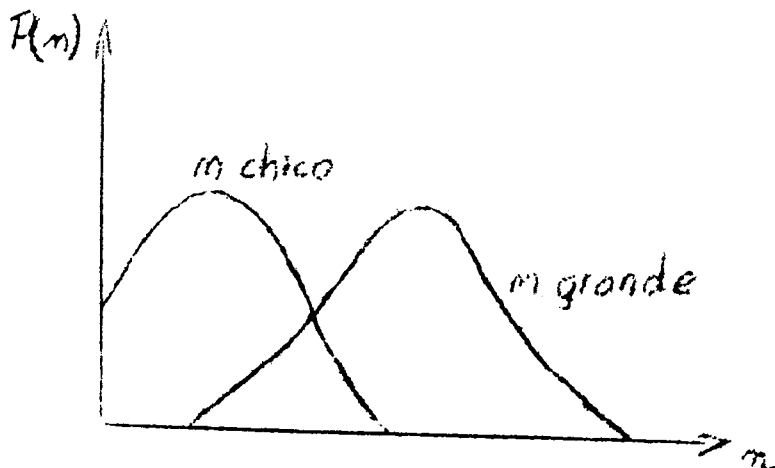
2-que la probabilidad de producción sea constante. La probabilidad de que una desintegración ocurra en un período de tiempo pequeño dt es: $\lambda \cdot dt$ donde λ es constante.

Fórmula de la distribución de Poisson.

$$P_m(n) = \frac{m^n}{n!} \cdot e^{-m}$$

Es decir si m es el número de desintegraciones promedio correspondiente a un intervalo de tiempo τ , $m = N \lambda \tau$, la probabilidad $P_m(n)$ de registrar un número n está dada por esa fórmula y si se representa en papel milimetrado se llega a gráficos de este tipo:

Fig: A



De la fórmula puede deducirse:

1-La suma de todas las probabilidades es la unidad.

2-El número más probable es el entero que está más cerca de $(m - 1/2)$ (es decir la probabilidad de m es igual que la de $m - 1$).

El valor medio está dado por:

$$\bar{n} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{n=i} n_i$$

La suma de dos o más distribuciones de Poisson es ella misma una distribución de Poisson.

Si un experimento se repite muchas veces, el número de cuentas registrado n en cada caso diferirá del valor medio $\bar{n}$ en una cantidad $(n - \bar{n})$ la que puede ser positiva o negativa esto es llamado el error aparente o desviación algebraica. Se acostumbra calcular la desviación standard (σ) que es la raíz cuadrada del valor medio de la desviación al cuadrado es decir:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum \Delta_i^2} \quad ; \quad \Delta_i = n_i - \bar{n}$$

y deduciendo de la fórmula de Poisson se concluye que $\sigma = \sqrt{m}$, nosotros nunca medimos m pero $\bar{n}$ se aproxima a m cuando hacemos muchas determinaciones $\therefore \sigma \approx \sqrt{\bar{n}}$

La distribución de desviaciones $(n_i - \bar{n})$ es la medida de la probable distribución de errores $(n_i - m)$ en una medición aislada.

Si nosotros realizamos una medición de n cuentas el error standard se define como $\sqrt{n}$; y el error standard proporcional como;

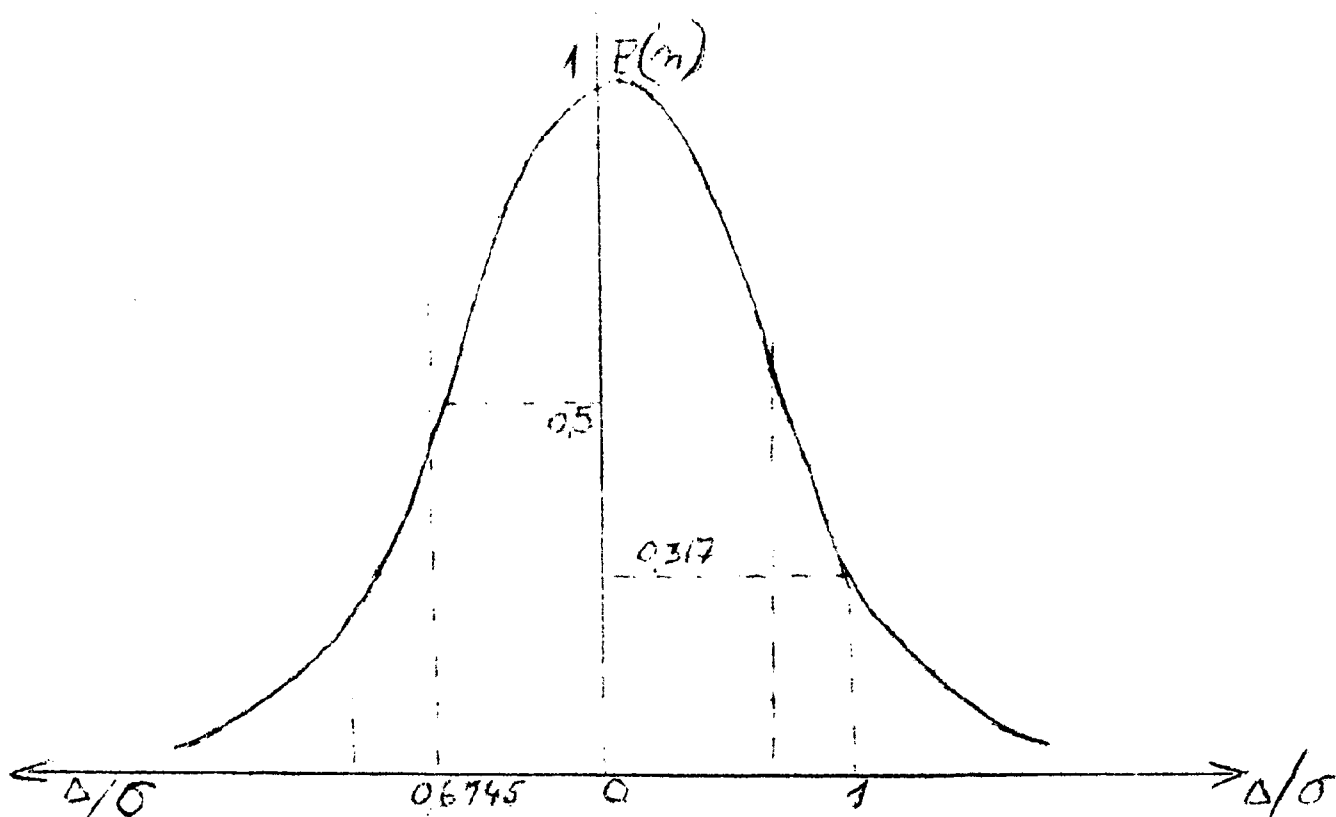
$$\frac{\sqrt{n}}{n} = \sqrt{\frac{1}{n}}$$

Curva de errores de Gauss.

Si m , número medio de desintegraciones registradas es grande, la fórmula de Poisson conduce a la curva de errores de Gauss.

$$P_m(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi m}} e^{-\frac{(m-n)^2}{2m}} \text{ o sea } P_m(n) = \frac{1}{\sqrt{0.72n}} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}}$$

donde Δ es la desviación del valor medio. Y se obtiene:



Es importante conocer la probabilidad de cometer un error comprendido entre ciertos límites.

De esta curva se deducen algunos valores.

La probabilidad de cometer en un gran número de cuentas m , un error menor que $\sigma = \sqrt{m}$ en uno u otro sentido es el área bajo la curva desde $X = -1$ a $X = 1$, esto es igual a 0,675, lo que significa que si se hace un gran número de medidas de m el 67,5% difiere de m en un número menor que $\sqrt{m}$.

Existe otro error tal que hay un 50% de probabilidad de cometer un error mayor y 50% de cometer un error menor que ese valor; es el error más probable, Está dado por $0.6745 \sqrt{m} = 0.6745 \cdot \sigma$

Hay otro valor $\pm 2\sigma = 2\sqrt{m}$ tal que existe una probabilidad de 96% de realizar un error menor que ese valor.

Es interesante conocer cual es la desviación standard en cantidades combinadas aritméticamente, como en el caso de una actividad a la que se le resta el efecto cero. La expresión que nos da esta desviación es, siendo las cantidades A y B las cantidades medidas:

$$(\sigma_A^2 + \sigma_B^2)^{1/2}$$

donde σ_A y σ_B son las desviaciones standard de A y B respectivamente.

Parte práctica:

Hacer 50 lecturas de 1 minuto cada una, anotar los valores $n_1 \dots n_2 \dots n_{50}$

CALCULAR:

1- El valor medio ($\bar{n}$), la suma de todos los valores dividida por el

número de observaciones.

2 - La desviación algebraica de cada observación.

$$n - \bar{n} = \Delta_i$$

3 - El cuadrado de la desviación de cada observación.

4 - La desviación standard (σ).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum \Delta_i^2}$$

Demostrar que las observaciones siguen la distribución de Poisson comprobando que se cumple lo siguiente:

1 - Calcular la raíz cuadrada del valor medio ($\sqrt{\bar{n}}$) y ver que es prácticamente igual a la desviación standard (σ).

2 - Hacer una lectura larga: 2 minutos, 5 minutos y 10 minutos y comprobar que se acercan a $\bar{n}$ y que por lo tanto de aquí se puede calcular σ .

3 - Comprobar que 31,7% de las determinaciones tienen una desviación mayor que σ .

4 - Mostrar que la desviación es mayor que 2σ en 4,6% de las determinaciones.

5 - Mostrar que la desviación es mayor que $0,6745\sigma$ en un 50% de las observaciones y menor en un 50% también (Error más probable).

Material:

1) Un preparado de período de semidesintegración muy largo.

2) Un cronómetro.

3) Un tubo Geiger-Müller con su escalímetro.

+ + + + + + + + + + + + + + + + +

Práctica No 3

PREPARACION DE UN PATRON DE $U_3 O_8$

INTRODUCCION

La actividad medida de un preparado radioactivo $\left(A = C \cdot \frac{dN}{dt} \right)$, depende de las características del tubo contador, de la geometría, del tipo y energía de las radiaciones de la fuente en estudio, del soporte de la misma, de la masa por cm^2 de preparado y de la densidad del aire.

De ahí la necesidad de comparar con un patrón las distintas mediciones de las fuentes radiactivas que se hacen en distintas oportunidades.

Por otro lado, teniendo un valor promedio de distintas mediciones del patrón, la obtención de un valor anormalmente alto o bajo del mismo, (valores que difieren en más del 5% nos indicaría que es necesario controlar el equipo contador y la medición practicada.

Generalmente se usa como patrón una fuente radiactiva que no varía en el transcurso del tiempo.

Nosotros utilizaremos como patrón, un preparado de U_1 (U-238) en equilibrio secular con UX_1 (Th-234) y UX_2 (Pa-234).

Se dice que un nucleído activo A, se encuentra en equilibrio secular con sus hijas B y C cuando A, B y C producen el mismo número de desintegraciones por unidad de tiempo y la actividad total decrece con el período del nucleído madre.

Para obtener un preparado de U_1 en equilibrio secular con sus hijas, UX_1 , UX_2 y UZ (Pa-234) tendremos que recurrir a un uranio relativamente viejo, un uranio en el que haya transcurrido un intervalo de tiempo de por lo menos seis meses desde la última separación de sus hijas: $UX_1 + UX_2$.

Por el procedimiento químico empleado, nosotros precipitaremos U_1 , UX_1 , UX_2 y UZ en equilibrio radioactivo. La actividad total se mantendrá constante en el transcurso del tiempo, ya que el nucleído madre tiene un período de semidesintegración muy largo, Veámos qué nucleídos y en qué medida contribuyen a la actividad total, teniendo en cuenta que nuestros tubos contadores presentan paredes de un espesor aproximadamente 30mg/cm^2 de vidrio, por lo que solamente se logran medir radiaciones beta de determinada energía y no se miden las radiaciones alfa. El U_1 es un nucleído alfa-emisor, que se transforma, con un período de semidesintegración de $4,49 \times 10^9$ años, en su hija UX_1 , emisor beta de baja energía (0,2 Mev); éste, con un período de semidesintegración de 24,1 días, se transformará en UX_2 . Este nucleído que tiene un período de semidesintegración de 1,17 minutos, se transforma en su mayor parte (99,85%) por emisiones beta penetrantes (energía máxima: 2,3 Mev) en U_{11} (U-234) emisor de período de semidesintegración de $2,48 \times 10^5$ años, el 0,15% restante del UX_2 se transforma por emisión β de 1,2 Mev en su isómero UZ . Este con un período de 6,7 horas se transforma también en U_{11} .

De estos nucleídos prácticamente sólo se mide UX_2 . Por otro lado

también separaremos el AcU (U-235) y sus hijas UY que siempre se encuentran presentes en el uranio proveniente de minerales, en la proporción de

$\frac{U_{238}}{U_{235}} = \frac{140}{1}$. De estos miembros tampoco se miden el UY, ya que su energía beta es muy baja; ni el AcU por ser emisor alfa.

Práctica:

Se pesan 500 mg. de U_3O_8 y se atacan con 2 ml de NO_3H en caliente. Se diluye con agua y se lleva a un volumen de 50 ml. en un matraz aforado.

Se toma un volumen conocido de esta solución, se agrega agua en caso necesario, se calienta a ebullición y se trata con NH_3 , con lo que se consigue precipitar el uranio al estado de diuranato de amonio, se deja hervir un tiempo y se procede a su filtración.

La filtración con vacío se realiza utilizando papel de filtro S y S - 589³. Al filtrar hay que tratar de repartir homogéneamente el precipitado. Para arrastrar y lavar el precipitado se usa solución de hidróxido de amonio.

Se monta el precipitado sobre una chapa de aluminio, se cubre con papel de celofán y se mide.

La medición en días sucesivos nos dará un índice de que el U_1 ha sido precipitado en equilibrio con sus hijas.

Efectivamente, con el transcurso del tiempo se deben obtener mediciones que no varíen más que en un 5%.

CALIBRACION DE UN TUBO CONTADOR CON UNA FUENTE PATRON

DETERMINACION DE LA SENSIBILIDAD DEL MISMO

INTRODUCCION

Una actividad medida con el tubo contador, no nos indica el número de desintegraciones por minuto que se produce en una fuente, nos informa solamente de la actividad de un preparado, vale decir $A = C \frac{d \cdot N}{d \cdot t}$ (siendo $\frac{d \cdot N}{d \cdot t}$ el número de desintegraciones que se producen por unidad de tiempo).

El factor de proporcionalidad C, depende de las características del tubo contador, de la geometría y de la energía de las radiaciones de la fuente en estudio, del soporte de la fuente y del espesor del preparado. Si se determina el factor de proporcionalidad se pueden dar valores aproximados de la actividad absoluta de la fuente. Para esto, se calibra el dispositivo con un patrón cuya energía máxima y otras condiciones se acercan estrechamente a las de la fuente en cuestión; se comprende fácilmente que para medir éstos deben mantenerse las condiciones de medición.

Esto último se consigue fácilmente; no así las otras condiciones, pues suelen existir dificultades para conseguir distintos patrones.

En forma simple se calibra, y así lo haremos, con un patrón de uranio en equilibrio con UX_1 y UX_2 . Se miden en nuestros contadores únicamente las radiaciones de UX_2 .

Se utiliza el patrón obtenido en la guía correspondiente.

Como se conoce la cantidad de U_1 tomada en equilibrio con UX_1 y UX_2 y se conoce además su constante de desintegración se sabe el número de desintegraciones que 1 mg. de uranio da por minuto.

Práctica:

Una vez determinado el efecto cero se comienza por determinar la actividad del patrón en distintas posiciones, calculando el rendimiento del tubo, previa sustracción del efecto cero, calibración que vale solamente para una fuente en las mismas condiciones (soporte, distancia de la fuente al tubo, tubo, etc.), y cuya energía máxima no se diferencia mucho de la energía máxima del UX_2 .

Para hacer una determinación absoluta más o menos exacta, hay que tener en cuenta la auto-absorción, que tiene mayor influencia que la auto-dispersión, cuando la densidad superficial (proporcional al espesor) pasa de 42 mg/cm^2 . Debe usarse el mismo soporte para tener, en los dos casos el mismo grado de retrodispersión.

Material :

1 - Oxido de Uranio, $U_3 O_8$

2 - Acido nítrico

3 - Solución diluida de $NH_4 OH$

Práctica No. 4

SEPARACION DE UX_1 DEL URANIO, DETERMINACION INDIRECTA DEL PERIODO DE SEMIDESINTEGRACION DEL UX_1 Y MEDICION DE LA CURVA DE ABSORCION DEL UX_2

INTRODUCCION

El elemento químico uranio tiene tres isótopos : el U-238 (99,3%), el U-235 (0,7%) y el U-234 (0,005%). El U-238 es la sustancia madre de la serie radiactiva del uranio, a la cual pertenece también el U-234, mientras que el U-235, el llamado actinouranio, es la sustancia madre de la serie del actinio.

Los tres isótopos emiten partículas α con una vida media muy larga. La hija inmediata del U-238 es el UX_1 , que emite partículas B tan poco penetrantes (energía máxima 0,21 MeV), que no se miden con un tubo G.M. de 35 mg/cm² de "espesor" de pared. El UX_1 desintegra en los isómeros nucleares UX_2 y UZ, que emiten partículas B con energías máximas tales (2,3 MeV y 1,2 MeV) que pueden ser medidas con facilidad. Pero el UZ se forma solamente en 0.15% y por eso prácticamente no contribuye a la actividad de los isómeros. El UX_2 tiene un período de semi-desintegración de 1,14 minutos, estableciéndose por eso en unos diez minutos el equilibrio radiactivo con el UX_1 , su sustancia madre. El UX_1 tiene un período de semidesintegración de 24,1 días, de manera que el equi-

librio entre el U-238 y el UX_1 se alcanza aproximadamente en medio año. Las hijas inmediatas del U-234 y U-235 no contribuyen a la actividad del uranio. La hija del U-234, el ionio, es emisor α con período de semidesintegración muy largo y la hija del U-235, el UY, tiene una radiación tan blanda como su isótopo, el UX_1 y desintegra en el protactinio -231, emisor α de vida media muy larga.

En el trabajo siguiente se precipitan juntos tanto los isótopos del torio: el UX_1 y el UY, como los isótopos del protactinio: el UX_2 y el UZ.

El período de semidesintegración del UX_1 se determina midiendo las radiaciones de su sustancia hija, el UX_2 , el que está en equilibrio con el UX_1 .

Además puede observarse en el uranio purificado el aumento de actividad, al establecerse gradualmente el equilibrio entre UX_1 y uranio. La suma de la actividad del uranio purificado y la del UX_1 separado del uranio debe ser constante en el caso de que el uranio estuviera en equilibrio con el UX_1 en el momento de la separación.

Separación química:

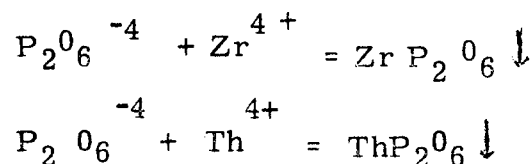
lo - Separación del UX_1 por medio de Zr o Th como portadores.

El zirconio y el torio, que son químicamente parecidos, forman con el hipofosfato de sodio un precipitado insoluble aún en ácidos muy fuertes.

La precipitación es cuantitativa y selectiva.

a) Preparado de UX_1 :

Se toman 3 ml. de la solución de nitrato de Uranilo (15 mg. de Uranio y se agregan 10 ml. de HCL al 7% (2N) y tres gotas de la solución de zirconio (2 mg. de zirconio) (o tres gotas de la solución de torio). Se precipita a ebullición el Zr (Th) con 10 gotas de la solución de hipofosfato (10 mg). Se obtienen copos blancos según las fórmulas:



El UX_1 , que es un isótopo del Th precipita con el Th o el Zr, que es químicamente parecido al Th.

Se filtra enseguida el precipitado por filtro coloidal, se lava con HCL al 3%, y se mide su actividad.

Cuando no se dispone de filtros coloidales, pueden usarse filtros de papel para precipitados muy finos, pero en esta caso es necesario filtrar 2 o 3 veces para que la separación sea cuantitativa. (El ZrP_2O_6 se filtra un poco mejor por filtros de papel que el ThP_2O_6).

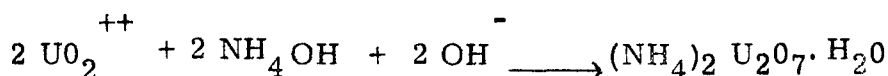
Se puede probar fácilmente la calidad de la separación, agregando nuevamente Zr al filtrado y precipitando el UX_1 restante con el Zr por medio de más hipofosfato.

Si el segundo precipitado tiene una actividad inferior al 1% respecto del primero, la separación es satisfactoria.

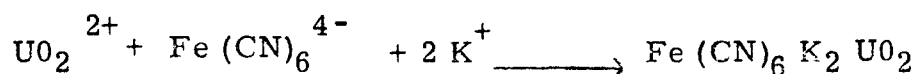
b) Preparado de uranio:

El filtrado del preparado anterior se evapora casi a sequedad, se diluye con agua, se calienta a ebullición y se precipita el uranio con amoníaco diluido libre de carbonato.

Se forma diuranato de amonio amarillo:



que se filtra cuantitativamente. Para probar si no queda uranio en el filtrado, se acidula el filtrado con HCL y se agrega ferrocianuro potásico, que produce una coloración rojo parda con soluciones muy diluidas de uranio:



El precipitado de diuranato se lava con amoníaco libre de CO_2 , se seca e inmediatamente se determina su actividad. Este preparado de uranio tiene que estar prácticamente libre de actividad beta. En los primeros días se mide diariamente y después, 2 veces por semana.

Material :

- 1 - Solución de nitrato de Uranilo (10 mg. de U/cc)
- 2 - HCL al 7%
- 3 - Solución de zirconio (10 mg de Zr^{+4} /cc)
- 4 - Hipofosfato de sodio (10 mg/cc).
- 5 - HCL al 3%.
- 6 - Amoníaco diluido libre de carbonato.

Práctica No. 5

ANALISIS DE LA CURVA DE DESINTEGRACION DE UNA MEZCLA DE DOS
SUSTANCIAS DE DIFERENTE PERIODO

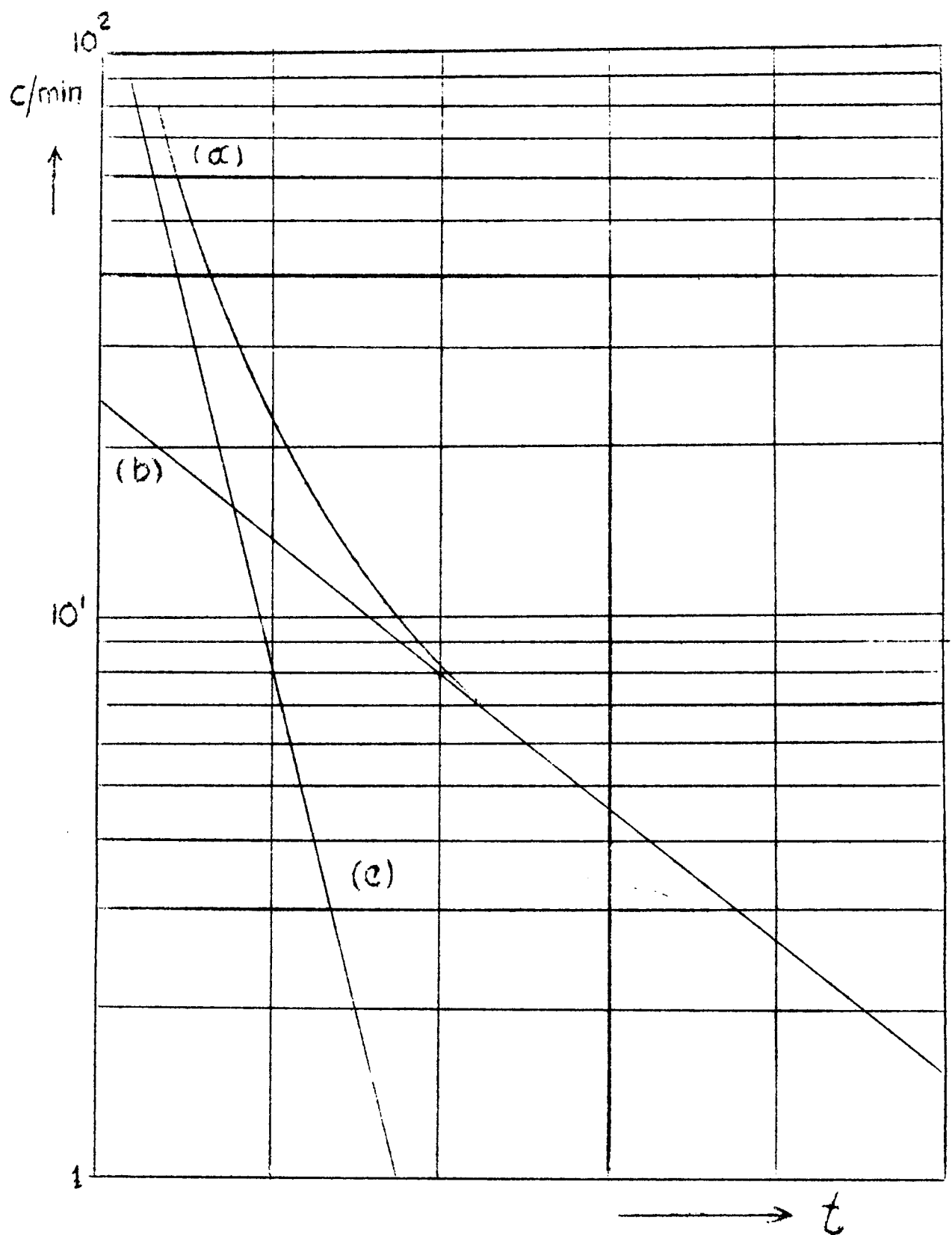
INTRODUCCION

Se trata de determinar el período de desintegración de dos nucleídos independientes uno del otro, es decir, que no pertenecen a la misma cadena de desintegración.

Se mide la actividad de la muestra en función del tiempo y se representa en papel semilogarítmico la curva de desintegración (a). Se extrapolaba hasta el tiempo cero la actividad de período más largo (b) y se la resta de la curva total. La nueva recta obtenida (c) representa el período más corto.

Material :

- 1 - I^{128} obtenido por irradiación de I con neutrones térmicos.
 - 2 - Cu^{64} obtenido por irradiación de Cu con neutrones térmicos.
 - 3 - Papel semilogarítmico.
-



Práctica No. 6

DETERMINACION, POR ABSORCION, DE LA ENERGIA BETA MAXIMA

DEL UX₂

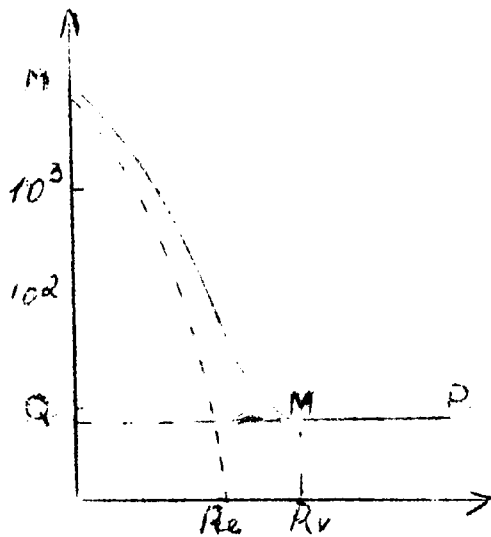
La mejor determinación del espectro y de la energía máxima de las radiaciones beta de un radionucleído se realiza con espectrómetro electromagnético al vacío.

Este aparato es de grandes dimensiones y el método presenta una serie de requerimientos y dificultades que lo hacen inapropiado para el trabajo corriente.

Por eso se recurre universalmente al procedimiento de absorción de la radiación beta por espesores crecientes de aluminio. Tiene la desventaja de que la forma en que se produce la absorción de las partículas B depende mucho de las condiciones de la operación pero, con todo, el método es útil en muchos casos.

Cuando se interponen entre la fuente radioactiva y el contador, espesores crecientes de aluminio, la actividad medida disminuye en forma aproximadamente exponencial. Por lo tanto, la representación gráfica, en papel semilogarítmico, de la actividad medida en función del espesor de aluminio, resulta una recta.

Los espesores se expresan en micrones o en mg/cm^2 (densidad superficial).



El gráfico adjunto muestra la forma típica de una curva de absorción beta aunque la misma depende del espectro beta de la radiación absorbida, de la geometría, del detector, etc. Prácticamente siempre la curva termina en un trazo casi horizontal, la "cola", debida a radiación electromagnética de espectro de líneas (gamma) y -- continua (radiación de frenamiento o --

"Bremsstrahlung"), que son mucho menos absorbidas por el aluminio. A veces no hay radiación gamma como ocurre con el P^{32} pero igual aparece la cola debido a la radiación de frenamiento.

La verdadera curva correspondiente a la absorción de rayos beta y que aparece en el gráfico como curva punteada $M R_e$, se obtiene restando de la curva total MN , la recta $Q N$ que constituye la cola.

Hay un cierto espesor de aluminio que detiene completamente todas las partículas beta y que se llama alcance máximo. La Determinación de este valor es importante, ya que existen relaciones que vinculan el alcance máximo con la energía beta máxima. Dichas relaciones se expresan por diversas fórmulas empíricas como las que se dan a continuación:

$$\frac{R_{\text{max.}} \cdot 0,160}{0,543} = E_{\text{máx.}} \quad (\text{para } E_{\text{máx.}} > 0,6 \text{ MeV}) \text{ (fórmula}$$

de Feather)

$$\frac{R_{\text{máx}} \cdot 0,133}{0,542} = E_{\text{máx.}} \quad (\text{modificación posterior, aplicable a casos - en los que } E_{\text{máx.}} > 0,8 \text{ MeV})$$

Para energías $> 0,7$ MeV se suele recurrir a gráficos como el de Glendenin. (Nucleonics, Vol. 2, No. 1, pp. 12-32, January 1948).

La determinación del alcance máximo $R_{\text{máx.}}$ puede hacerse de varias maneras:

1) Alcance visual R_v : corresponde al punto N, en que la curva total se confunde con la cola.

2) Alcance extrapolado R_e : se obtiene extrapolando lo más posible la curva de absorción beta una vez restada la cola.

3) Alcance de Feather R_F : Se determina por comparación con un emisor patrón, como se explica más adelante.

4) Alcance determinado por otros métodos, como el de Bleuler y Zūnti, muy elaborado (Helv. Phys. Acta, Vol. 19, pp. 375 - 398, 1946)

Trabajo práctico.

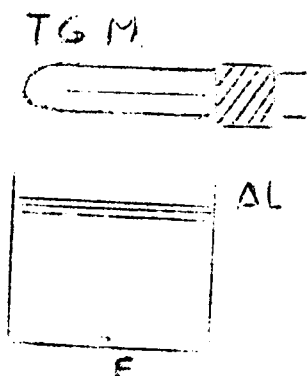
Se medirá la curva de absorción de la radiación beta de UX_1 en equilibrio transitorio con UX_2 . Como se usará tubo de vidrio de pared relativamente gruesa las radiaciones del UX_1 , por ser muy blandas, no serán detectadas.

El preparado se obtiene como en "Separación de UX_1 más --

UX_2 de UI" (Práctica No. 4). Conviene montar la muestra en forma apropiada a fin de reducir la retrodispersión, por ej. pegando el papel de filtro sobre el agujero de una placa de lucite por medio de cinta transparente, de manera que el precipitado de hipofosfato quede centrado.

Deben obtenerse dos preparados distintos, tales que la actividad del "fuerte" sea por lo menos diez veces superior a la del "débil", el cual puede tener unas 4000 cuentas / min.

Se ubica la fuente débil en posición alejada del tubo contador y se mide su actividad sin interponer ningún absorbedor. La medición se hace luego, interponiendo sucesivamente láminas (o combinación de láminas) de aluminio de espesor creciente, en posición cercana al tubo Geiger.



Con la fuente débil se interponen los siguientes espesores de Al, 100, 200, 300, 400 y 500 micrones.

Luego se sustituye el preparado débil por el fuerte, y se mide interponiendo 300, 400, 500, 700, 900, 1100, 1300, 1500, 1600, 1700, 1750, 1800, 2000, 3000 y 4000 micrones de aluminio.

Al efecto absorbente de estos espesores se añade el de la cubierta del preparado, el del aire interpuesto y el de la pared de vidrio del contador; todo ello puede estimarse como equivalente a 100 micrones de Al, que al trazar el gráfico deben sumarse a todos los espesores de aluminio usa-

dos.

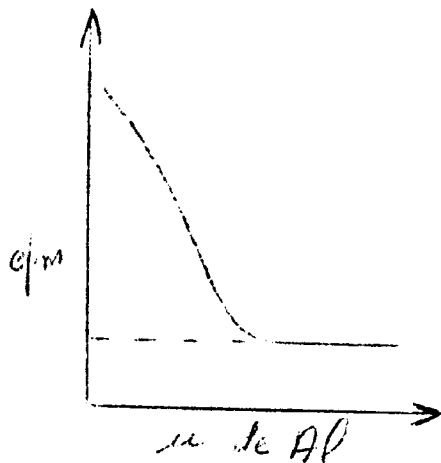
Gráfico.

Las lecturas se corregirán por efecto cero y por coincidencia - si es necesario.

Es necesario, además, hacer la conversión de las mediciones del preparado débil a equivalentes para el fuerte. Para ello se relacionan las tres primeras mediciones de la fuente fuerte con las homólogas - de fuente débil y se promedian estas tres relaciones. El valor resultante es el factor de conversión, por el cual deben multiplicarse las mediciones del preparado débil.

En papel semilogarítmico se representan las actividades medidas en función de los espesores absorbentes (u de Al). La parte final - del gráfico será casi horizontal debida, en el caso de $UX_1 - UX_2$, a radiación gamma más Bremsstrahlung. A veces aparece una pequeña elevación al comenzar la cola, debida a electrones secundarios arrancados del aluminio por la radiación gamma.

Hecho el gráfico, deben extrapolarse la parte inicial y la cola gamma hasta el espesor cero y restar de la curva completa la cola extrapolada. Para ello, al valor de la actividad de la curva correspondiente a cada espesor determinado de absorbente (vr. gr. cada 200 u) se sustrae el valor de la actividad de la cola extrapolada correspondiente al mismo espesor, representando las diferencias como nuevos puntos, que al ser unidos , dan la curva correspondiente sólo a la radiación beta.



Determinar el alcance máximo visual y el alcance máximo extrapolado. Calcular la energía máxima beta con ambos valores del alcance.

ABSORCION DE LA RADIACION BETA DE RaD-E - "ANALISIS DE FEATHER".

INTRODUCCION

Los espectros de radiación beta verdadera-
(continuos) tienen el aspecto de la figura 1. Supongamos dos emisores beta pu-
ros, A y B, con distribuciones de energías exactamente equivalentes, espe-

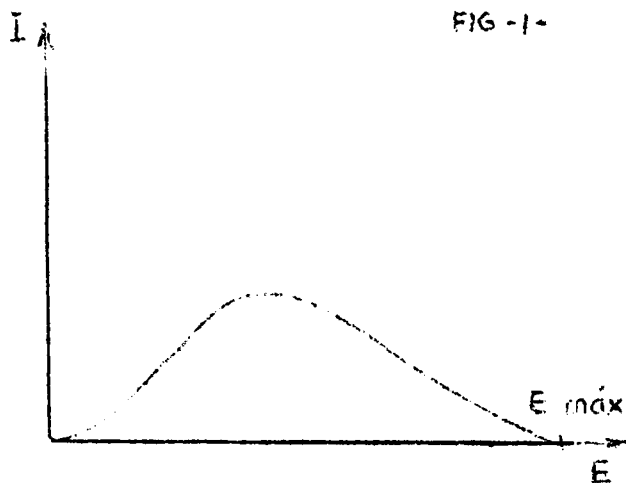


FIG -1-

tores de aluminio iguales a una fracción-
determinada del alcance máximo en cada-
caso (por ejemplo $\frac{2}{10}$ de $R_{\text{máx}}$). tendrían-
exactamente el mismo efecto absorbente-
para ambas radiaciones, es decir, la acti-
vidad de A sería reducida en igual porcen-
taje que la de B. Por lo tanto, la relación-
entre los espesores d_A y d_B , capaces-

de reducir A_A y A_B , en igual proporción, guardarían entre sí la misma rela-
ción que los alcances máximos R_A y R_B :

$$\frac{d_A}{d_B} = \frac{R_A}{R_B} \quad (1)$$

En este caso ideal, bastaría conocer exactamente el alcance máximo de A, por ejemplo, para determinar rápida y sencillamente el alcance de B, y por lo tanto su energía E_B . El emisor A serviría de patrón de comparación.

En la práctica, los espectros de emisores betas distintos no presentan la misma distribución pero como norma general puede decirse -- que las diferencias no son muy importantes. En esto se basó Feather para establecer su método aproximado que permite hallar el alcance máximo de la radiación beta de un nucleído.

Se adopta como patrón un nucleído de energía beta máxima muy bien conocida. Feather eligió el RaE (1,17 MeV; 5 días); hoy se prefiere el P^{32} (1,71 MeV; 14,3 días), cuyo espectro es más adecuado.

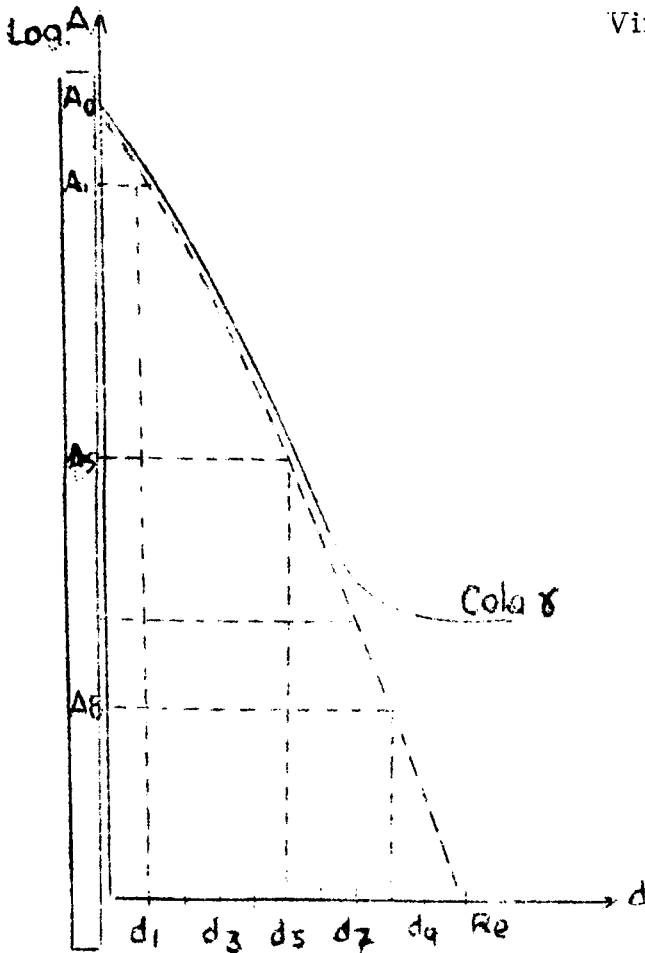
Empleando un mismo dispositivo de conteo (cajas, geometría, blindaje, contador) se hace una buena determinación de la absorción para distintos espesores de aluminio con el patrón y el nucleído problema, y se representan ambos gráficos a escalas iguales, en papeles separados.

La distancia entre el origen y el alcance máximo extrapolado del patrón es dividida en diez segmentos iguales. Llamaremos d_i ($d_1, d_2, \dots, d_{10} = R_p$) a los espesores entre el origen y cada trazo divisor.

Se tabulan, recurriendo a la curva de la muestra patrón, las actividades correspondientes a cada espesor d_i , obteniendo así valores de actividad A_i , que se marcan sobre el eje de las ordenadas. Estas marcas

se trasladan a una tira de papel , cartón o cartulina ("Analizador de Feather"),

Se adosa el analizador al gráfico del emisor problema, haciendo coincidir la primera marca A_0 con la actividad a espesor cero y señalando por un proceso inverso al anterior, los espesores d_i' que corresponden a las mismas fracciones de actividad inicial que las indicadas en la curva patrón.



Vimos que en el caso ideal tendríamos según -

(1):

$$\frac{d_i}{d_i'} = \frac{R_{\text{patrón}}}{R_{\text{Problema}}}$$

En los casos prácticos, se obtienen, con esta relación, valores aproximados del alcance que llamaremos R_i . Por ejemplo , para espesor igual a $\frac{4}{10}$ del alcance;

$$\frac{d_4}{d_4'} = \frac{R_p}{R_4}$$

$$R_4 = R_p \frac{d_4'}{d_4} \quad \text{pero}$$

$$d_4 = \frac{4}{10} R_p$$

por lo tanto:

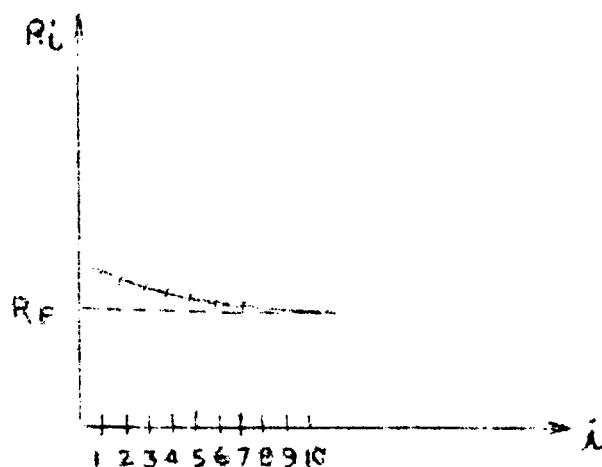
$$R_4 = \frac{10}{4} d_4'$$

y en general:

$$R_i = \frac{10}{i} d_i \quad (2)$$

Si se representan los distintos valores R_i , aproximados, en función de los i respectivos, se obtiene una curva, "gráfico de Feather", - que tiende a un valor límite que se determina por extrapolación, llamado "al-
cance de Feather", R_F .

Al construir el gráfico de Feather no conviene dar mu-
cho peso a los tres o cuatro últimos puntos, que poseen gran imprecisión. Con los valores de R_F obtenidos en esta forma, se calcula la energía beta con las curvas alcance-energía dadas por el mismo Feather.



Trabajo práctico

Determinar la curva de absorción en aluminio de RaD en equilibrio con RaE (Pb^{210} y Bi^{210} respectiv.), obtenidos, haciendo pasar, -
previa adición de algunos miligramos de Pb^{++} como portador, una corriente -

SH₂ a través de una solución clorhídrica del depósito interno de viejas agujas de radón.

Usar el mismo dispositivo experimental que en el trabajo de absorción de UX₂. Restar la cola gamma y hallar el alcance extrapolado.

Hacer el análisis de Feather para la curva de UX₂ obtenida en práctica anterior. Encontrar R_F y calcular la energía beta máxima de UX₂.

Material:

- 1 - Agujas de radón
 - 2 - Solución de Pb⁺⁺ (10 mg/ml)
 - 3 - Solución de Bi⁺⁺ (10 mg/ml)
 - 4 - Acido clorhídrico
 - 5 - Kipp de ácido sulfídrico
-

Práctica No. 7

DETERMINACION DEL ALCANCE BETA MAXIMO DE UN EMISOR DE PERIODO CORTO.

INTRODUCCION

Se ha visto en los trabajos prácticos anteriores que la determinación del alcance máximo de las partículas de un emisor beta se hace interponiendo entre la fuente y el aparato de medición diferentes espesores de un absorbente (en nuestro caso aluminio) y estudiando la curva obtenida de representar en papel semilogarítmico la actividad en función del espesor interpuesto.

En el caso de un emisor de período corto, es decir de un emisor cuya actividad varía sensiblemente durante el tiempo de la experiencia se usa el mismo método, pero teniendo en cuenta el decrecimiento de la actividad.

A tal efecto se trabaja en la siguiente forma:

Se toma una medición inicial de la actividad de la fuente sin absorbente ($t=0$) y sucesivamente con diferentes espesores, anotando cuidadosamente el tiempo al cual se realizan las determinaciones. A intervalos más o menos regulares se intercalan mediciones de la actividad de la fuente sin absorbente.

Las mediciones anteriores se efectúan con espesores decrecientes de aluminio a fin de aprovechar la mayor actividad de la fuente con los

espesores que reducen el número de cuentas en mayor proporción.

Se representa luego la actividad en función del tiempo, cuidando de anotar en cada punto a qué espesor se refiere (Fig 1).

Los puntos que corresponden a cero micrones de aluminio nos dan la curva de desintegración del emisor estudiado.

Trazando paralelas a ella por los puntos correspondientes a los diferentes espesores obtendremos, en la intersección de la recta que pasa por el punto considerado con el eje de las ordenadas, la actividad que se hubiese obtenido si cada uno de ellos hubiera sido medido al tiempo $t=0$.

Se representa entonces en la forma acostumbrada la actividad al tiempo $t = 0$, obtenida de la ordenada de la curva anterior, en función del espesor de absorbente. El estudio de esta curva de absorción dará el valor del alcance máximo de las partículas beta emitidas por la muestra en estudio.

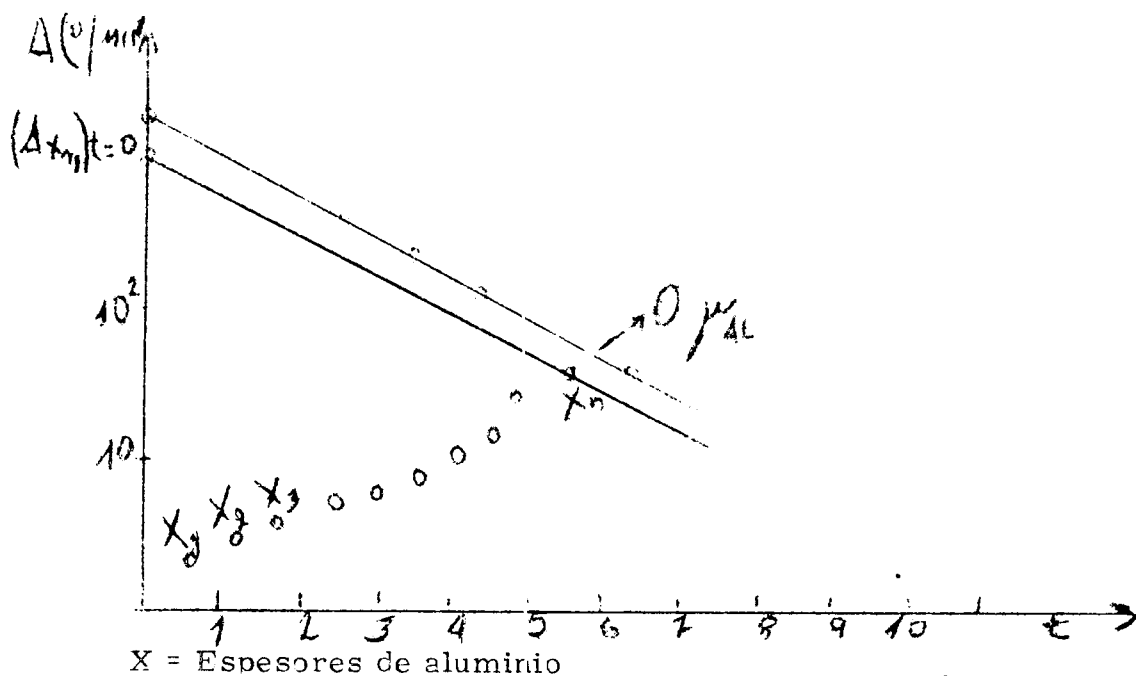


Fig 1

Material:

1) Emisor beta de período corto , p. e.

P^{32} , Au^{198} , Na^{24}

Práctica No. 8

DETERMINACION DEL TIEMPO MUERTO DEL CONTADOR GEIGER - MULLER
Y ESCALIMETRO. - CORRECCION DE PERDIDAS POR COINCIDENCIAS .

INTRODUCCION

Al penetrar una partícula cargada en un contador se produce la ionización del gas contenido en el mismo. Los iones negativos, en gran mayoría constituidos por electrones libres se dirigen al anodo, alambre central del tubo, alcanzándolo rápidamente; en cambio los iones positivos gaseosos, que se mueven más lentamente, se desplazan durante un cierto tiempo rodeando el hilo y causando una carga espacial opuesta a la del campo eléctrico de funcionamiento del contador. Mientras dura esa condición, si penetran otras partículas cargadas, éstas no podrán ser registradas hasta tanto el campo eléctrico no haya recuperado un cierto valor; esto ocurre cuando los iones positivos llegan a la pared (cátodo), en un tiempo del orden de 200 u seg.

El intervalo en que el tubo permanece insensible se llama "tiempo de resolución del contador". Junto con este tiempo de parálisis obra el propio del circuito electrónico del escalímetro, que puede ser (y a veces se hace, de intento) mayor que el anterior. El tiempo de parálisis de todo el equipo se denomina "tiempo muerto" del mismo.

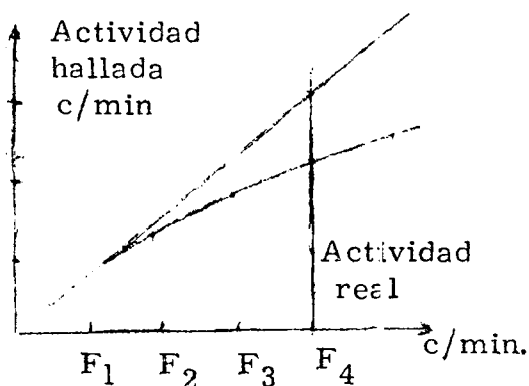
Como consecuencia del tiempo muerto ocurren "las pérdidas

Por coincidencia". Se consideran coincidentes las partículas ionizantes que penetran en el contador con intervalo menor que el tiempo muerto y son contadas como una sola. Evidentemente este defecto, despreciable si la actividad medida es baja, se acentúa cuando dicha actividad es elevada y resulta imprescindible introducir en las mediciones la corrección correspondiente. Existen para ello varios procedimientos que pueden reunirse en dos grupos:

1 - Métodos de determinación directa de las pérdidas que da el equipo por medición de actividades de valor conocido de antemano.

2 - Determinación del tiempo muerto τ y cálculo subsiguiente de las correcciones.

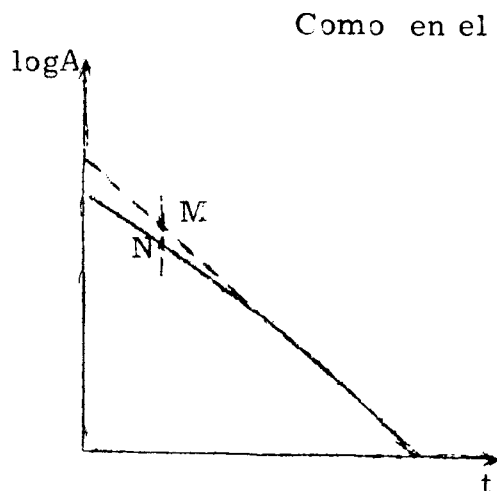
"Método de las fuentes proporcionales". Se prepara una serie de fuentes de actividades crecientes y exactamente conocidas cuidando de que no estén afectadas por factores como autoabsorción o variaciones geométricas. Se miden sucesivamente y se representan las actividades medidas en función de las actividades reales. El gráfico resultante se aparta de la recta a 45° y la diferencia entre ambas da la pérdida por coincidencias correspondiente a cada actividad.



Este método es delicado pero muy bueno, y no requiere disponer de aceleradores de partículas o fuentes de neutrones como el que sigue. Conviene hacer las fuentes con un emisor de pe-

riodo muy largo.

"Método de la curva de desintegración". Se sigue a intervalos más o menos regulares el decaimiento de un emisor de período corto, comenzando con una actividad de 50.000 c/m aproximadamente. Debido a las pérdidas por coincidencia, el gráfico en papel semilogarítmico da una curva que a actividades altas difiere más o menos apreciablemente de la recta que corresponde al período del emisor. La divergencia disminuye con la disminución de actividad y llega a desaparecer, confundiendo la curva hallada con dicha recta.



Como en el caso anterior, la diferencia entre ambas "curvas"

da la pérdida que corresponde a cada actividad. Para corregir una cierta medición N, vg., deberá sumarse a la misma el valor MN. Estas correcciones pueden tabularse y ser aplicadas, cada vez que sea necesario, a las

mediciones que se realizan con el tubo Ceiger-Müller en el que se determinó el tiempo muerto.

Emisores apropiados son el I^{128} (25,0 min.), In^{116} (54,3 min.), Mn^{56} (2,6 h.), Rh^{104} (4,3 min.). La práctica se realizará con I^{128} , obtenido por la reacción $I^{127}(n, \gamma) I^{128}$, con neutrones térmicos. Se medirá la actividad de la muestra periódicamente, a intervalos de cinco minutos.

Interponer una chapa de plomo entre la fuente y el tubo G. M., a fin de no gastar el contador innecesariamente entre medición y medición.

Representar las actividades medidas en papel semilogarítmico en función del tiempo medio para cada medición (tomar la hora al hacer cada lectura). Prolongar las mediciones hasta observar bien la porción "lineal" del gráfico, correspondiente al período de 25,0 min. Extrapolar esta recta hasta el origen.

Disponer los datos experimentales según el ejemplo siguiente:

| Hora | Tiempo minutos | Lectura (cuentas totales) | Actividad medida (c/min.) | Corrección por Ef (c / min.) | Hora promedio |
|--------------|----------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------|
| 15. 03. 30" | 2 | 0 | 37117 | 37098 | 15. 04. 30" |
| 15. 05. 30" | | 74234 | | | |
| 15. 10. 00 " | 2 | 0 | 33154 | 33135 | 15. 11. 00" |
| 15. 12. 00 " | | 66309 | | | |

Los datos obtenidos en la práctica servirán para las futuras correcciones por coincidencia de las mediciones que se realicen con el contador empleado.

"Método de las dos fuentes": Este sólo sirve para correcciones aproximadas porque supone que el tiempo muerto es independiente de la actividad, lo cual no es exacto. Si dos fuentes radiactivas comparables dan actividades --

medidas A'_1 y A'_2 respectivamente cuando se miden separadas, y A'_{12} si se miden simultáneamente, siendo Ef_0 el efecto cero del contador (el cual está incluido en A'_1 , A'_2 y A'_{12}), se verifica que: $A_1 = A'_1 + (A'_1 \cdot \tau) \cdot A'_1$ (I).

A_1 , lo mismo que A_2 y A_{12} , son las actividades si no existiera pérdida por coincidencias. $(A'_1 \cdot \tau)$ es el tiempo en que el equipo permanece muerto mientras dura la medición A'_1 .

De (I):
$$A_1 \approx A'_1 + A'^2_1 \cdot \tau \quad (II)$$

Análogamente para A_2 y A_{12} .

Como $A_{12} - Ef_0 = A_1 + A_2 - 2Ef_0$ resulta, sustituyendo y despejando:

$$\tau = \frac{A'_1 + A'_2 - A'_{12} - Ef_0}{A'^2_{12} - A'^2_1 - A'^2_2} \quad (III)$$

Para la práctica se dispondrá de dos fuentes F_1 y F_2 , de actividades parecidas. Colocar F_1 en posición tal que se registre entre 5000 y 10 000 c/min. Contar unos diez minutos. Sin mover F_1 colocar F_2 de modo que las dos juntas produzcan una actividad medida aproximadamente doble que la anterior; medir otros diez minutos. Cuidando de no modificar la posición de F_2 , retirar F_1 y realizar una medición de F_2 durante diez minutos. Calcular el valor de τ aplicando la fórmula (III).

Apéndice: El tiempo de resolución de un T.G. puede variar con el tiempo;

conviene entonces repetir periódicamente una determinación del mismo. Si se necesita una corrección exacta de las pérdidas por coincidencia se puede introducir intencionalmente un tiempo muerto constante y conocido; esto se efectúa aplicando electrónicamente un tiempo muerto predeterminado al es calímetro, tal que sea mayor que cualquier tiempo de resolución natural del contador. Mediante la (II) se construye la correspondiente tabla de correcciones.

NOTA: Hay instrumentos en que el efecto del tiempo de resolución no sigue la ecuación (I).

Material :

- 1) Fuentes de I^{128} o In^{116} de unas 50.000 c/min. a $t = 0$
- 2) Dos fuentes de período largo de aproximadamente 5000 c/min cada una.
- 3) Dispositivo para ubicar las dos fuentes,

Práctica No 9

MEDICION DE PERIODOS CORTOS - SEPARACION DE UX_2 (Pa^{234})

INTRODUCCION

Para el buen éxito de esta práctica es indispensable una cuidadosa preparación de todo el material a utilizar a fin de reducir al mínimo el tiempo necesario para cada etapa, Esta misma precaución deberá tomarse en todos los casos en que el período a medir sea de pocos minutos.

A una solución de sal de uranilo en la que el uranio esté en equilibrio con el UX_1 se agrega ácido clorhídrico hasta llevar la concentración clorhídrica al 15% ; luego se agregan unos 15 mg de torio como portador de retención del UX_1 y un exceso de fosfato de sodio.

Se calienta la mezcla hasta ebullición y se agrega 1 mg de zirconio como portador del UX_2 . Precipita el fosfato de zirconio , quedando en solución el Th (UX_1).

Después de calentar por uno o dos minutos se filtra rápidamente el fosfato de circonio, y se lava con algunas gotas de HCL 15%. Se monta el preparado y se mide. Las mediciones se harán cada 30 segundos sin interrupción. Como tiempo cero de las mediciones se toma el tiempo medio de filtración.

La curva de desintegración mostrará un período de 1,18 m, --

correspondiente al UX_2 .

Si, por alguna razón la experiencia no tuviera éxito, es suficiente esperar unos 10 minutos, al cabo de los cuales puede volverse a utilizar la solución de uranio original puesto en equilibrio con el UX_1 .

Material :

- 1 - Nitrato de Urnilo (10 mg/ ml)
- 2 - Acido clorhídrico .
- 3 - Solución de torio (10 mg/ml)
- 4 - Fosfato de sodio (10 mg/ml)
- 5 - Solución de zirconio (10 mg/ml)

Práctica No 10

DETERMINACION DE LA ENERGIA MAXIMA DE UNA RADIACION BETA

"BLANDA" ($UX_1 + UX_2$)

INTRODUCCION

Cuando se quiere determinar la energía máxima de una radiación beta "blanda" (0,1 - 0,3 MeV) es indispensable usar un tubo Geiger - Müller cuya ventana tenga pequeño espesor. En general se usan tubos "ventana" o "campana" de aproximadamente 2 mg/cm^2 .

La técnica de la determinación es igual a la descrita en una práctica anterior; es decir, absorber la radiación beta en espesores de aluminio crecientes y representar en papel semilogarítmico la actividad en función del espesor de absorbente.

En nuestro caso tenemos una fuente de UX_1 en equilibrio con su hija, el UX_2 . Las radiaciones beta emitidas por la fuente son: una de 0,2 MeV, correspondiente al UX_1 y otra de 2,3 MeV del UX_2 .

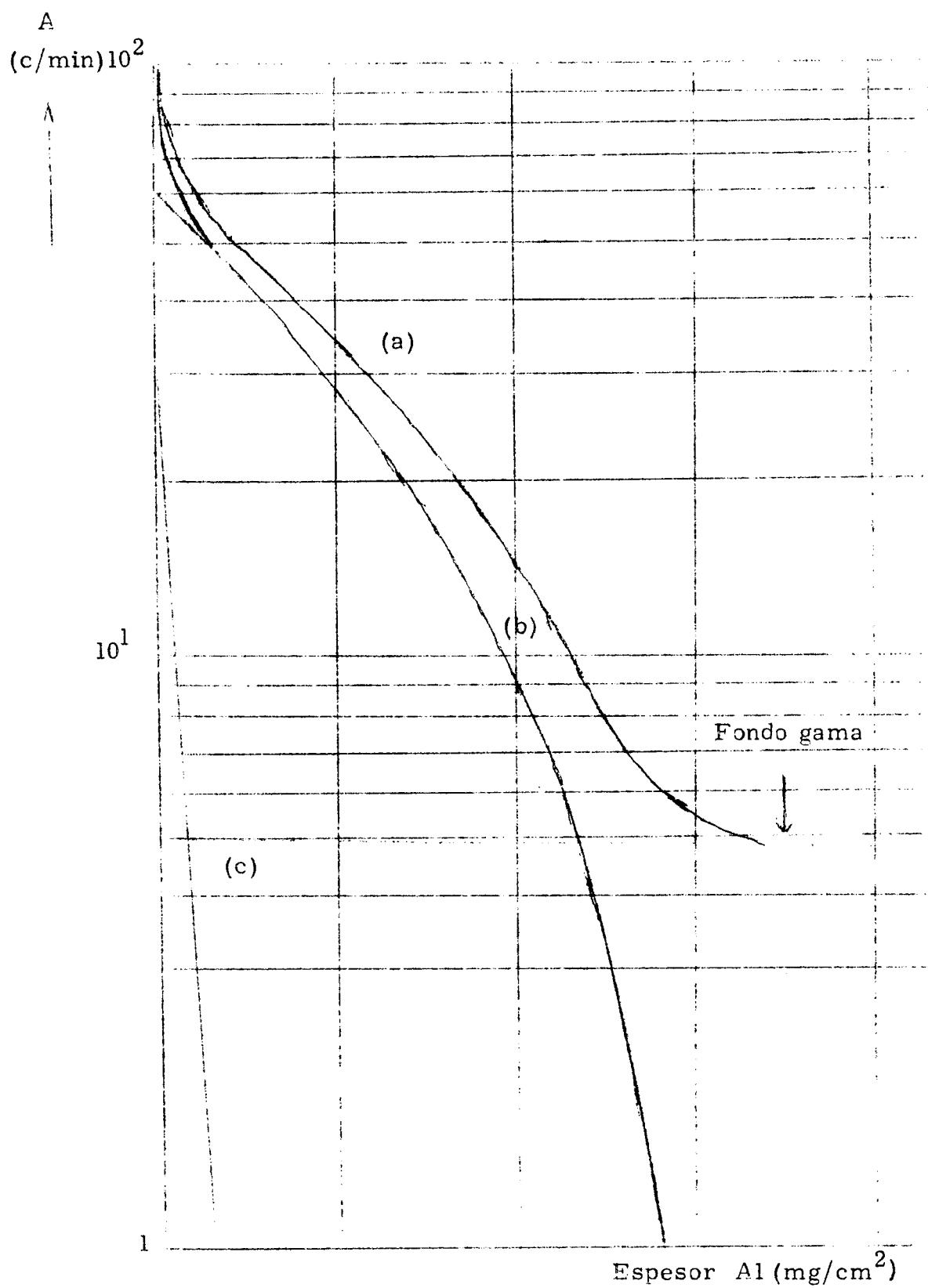
Si representamos la actividad en función del espesor obtenemos la curva (a). Extrapolando el fondo gama hasta espesor cero y restando éste de la curva (a), la nueva curva (b) nos permite calcular la energía máxima del UX_2 . Con una nueva extrapolación, esta vez la curva (b) antes del punto de inflexión, y posterior sustracción de la parte extrapolada, obtendremos una curva (c) correspondiente a la radiación beta - -

"blanda".

Con ayuda de la misma podemos calcular la energía de esta -
última.

Material:

- 1) Fuente de $UX_1 - UX_2$ intensa
- 2) Juego de chapas de aluminio de diferentes espesores.



Práctica No. 11

AUTOABSORCION.

INTRODUCCION

Se trata de medir la actividad de un emisor beta poco energético (S^{35}) en función del espesor del preparado ($BaSO_4$).

Se montan diez (10) preparados de igual actividad en S^{35} pero cuyo contenido de $BaSO_4$ aumenta gradualmente y se mide la actividad de los mismos.

Para ello se precipita $SO_4 Ba$ con las soluciones indicadas a continuación, manteniendo la temperatura a ebullición y se los deja enfriar lentamente.

| Preparado | ml. H_2O | ml. $S^{35}O_4$
0,2 u C/ml | $BaCl_2$
(0,1 M) | H_2SO_4
(0,05M) |
|-----------|------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1 | 20 | 1 | 0,5 | 0,5 |
| 2 | 15 | 1 | 1,0 | 1,0 |
| 3 | 15 | 1 | 1,5 | 1,5 |
| 4 | 15 | 1 | 2,5 | 2,5 |
| 5 | 10 | 1 | 5,0 | 5,0 |
| 6 | 5 | 1 | 7,5 | 7,5 |
| 7 | - | 1 | 10,0 | 10,0 |
| 8 | - | 1 | 12,5 | 12,5 |
| 9 | - | 1 | 15,0 | 15,0 |
| 10 | - | 1 | 20,0 | 20,0 |

2) Se centrifugan los precipitados y luego se lavan con agua. Se despi -
za el agua con acetona, colocándose entonces los precipitados sobre sen -
dos platillos.

3) Después de sacarlos a 120° se mide la actividad de los mismos y se
registran en un diagrama los valores obtenidos en función del espesor -
en mg/cm^2 (gráfico No 1). El espesor se calcula de la cantidad de -
 BaSO_4 precipitado. (Antes de la medición de la actividad los preparados
deben haberse secado absolutamente pues, en caso contrario, ocurrirían
graves errores de medición).

Se calcula entonces el coeficiente de autoabsorción, es decir, el coe -
ficiente obtenido entre la actividad del preparado de determinado espe -
sor y la actividad del preparado con espesor cero. La segunda actividad
se obtiene por extrapolación de la curva trazada o evaporando 1 ml de la
solución $\text{S}^{35}\text{O}_4 =$ sobre un platillo y midiendo luego la actividad. En un
segundo diagrama se registra el coeficiente de autoabsorción (μ_s) en -
función del espesor del preparado (gráfico No 2) .

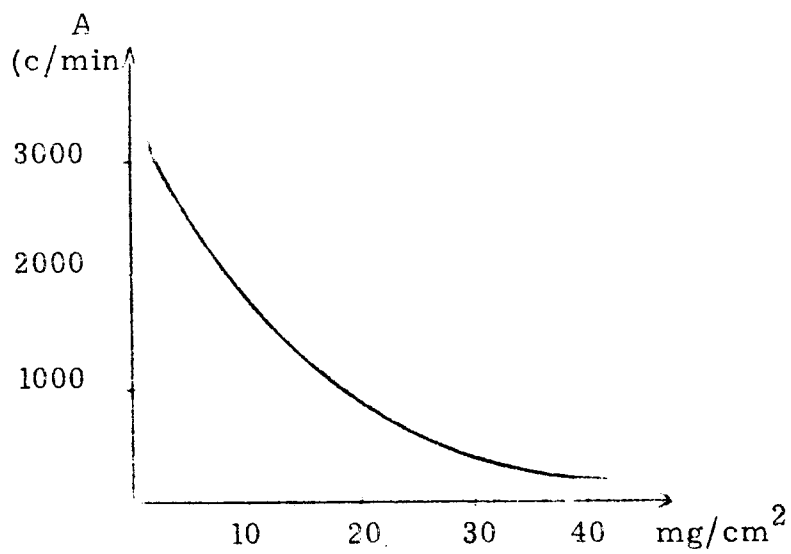


Gráfico No. 1

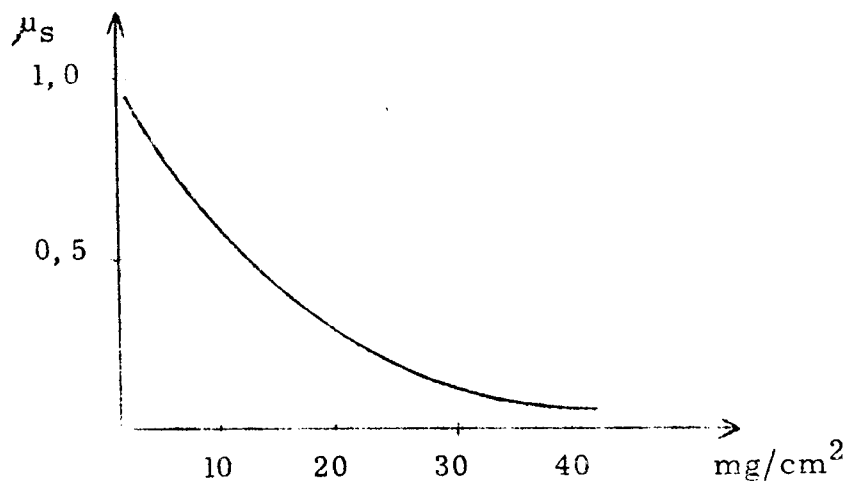


Gráfico No. 2.

Práctica No. 12

RETRODISPERSION

INTRODUCCION

Se denomina retrodispersión (back-scattering) a la reflexión de los electrones producidos por procesos de dispersión simple o múltiple con los núcleos atómicos de los elementos que se usan como soportes de las fuentes radiactivas. El fenómeno de retrodispersión depende del número atómico y espesor del dispersor, del ángulo sólido que subtiende la muestra y de las energías de las radiaciones beta emitidas por la fuente. El conocimiento cuantitativo de este fenómeno es necesario si se desean efectuar mediciones absolutas.

La práctica consistirá en determinar la variación de la retrodispersión en función del espesor de un dispersor determinado, y a continuación, en función de la energía de la radiación beta emitida por diferentes nucleidos, el espesor de saturación. En general se observa retrodispersión a saturación cuando el espesor del retrodispersor es aproximadamente igual al semiespesor para la partícula beta en cuestión. Se procede en la siguiente forma:

a) Se coloca la fuente que deberá prepararse prácticamente libre de portador, a una distancia determinada y fija del detector y se mide su actividad en esas condiciones.

b) Luego se colocan espesores crecientes de chapas de aluminio, del lado de la fuente más alejado del detector. Se observa un aumento de la actividad a medida que se aumentan los espesores de las chapas de aluminio, hasta llegar a un valor constante (retrodispersión a saturación).

Se denomina porcentaje de retrodispersión al cociente entre la actividad obtenida con retrodispersor y la obtenida sin él.

Se grafica sobre papel milimetrado, el porcentaje de retrodispersión en función del espesor de las chapas de aluminio, expresado en mg/cm^2 .

Para determinar la variación del porcentaje de retrodispersión en función del número atómico del dispersor, se procede de la siguiente manera:

a) Se toma la actividad de la fuente, sin dispersor, ubicada a una distancia fija del detector.

b) Luego se colocan diversos dispersores, cuyos espesores serán iguales o mayores al correspondiente a saturación y se determina en cada caso, la actividad A_d . Se grafica el porcentaje de retrodispersión en función del número atómico del material dispersante.

Estos procedimientos se repiten con diversas fuentes de energías beta máximas diferentes. Se observará que, a energías superiores a 0,6 MeV, la retrodispersión a saturación es independiente de la

energía beta máxima de la muestra.

Material:

- 1) Solución conteniendo P^{32} .
- 2) Espesores crecientes de Al (hasta unos 400 mg/cm²)
- 3) Semiespesores para P^{32} de Cobre, Plomo, Plata, --
Cadmio, Oro, etc.
- 4) Soluciones conteniendo Co^{60} y Ra E.

Práctica No. 13

DETERMINACION DE LA ENERGIA DE RAYOS GAMA POR EL METODO
DE ABSORCION.

INTRODUCCION.

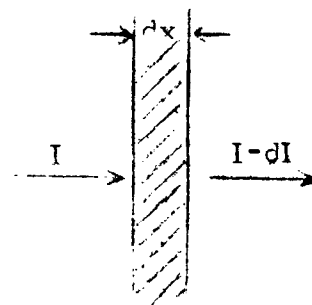
La energía de rayos gama puede determinarse por medio de un espectrómetro beta o un espectrómetro de centelleo. - Estos métodos son precisos pero requieren un equipo de medición más o menos complicado.

Existe un método más simple para determinar aproximadamente la energía de rayos gama y es la determinación de su absorción en un material de Z elevado.

Si un haz de rayos gama pasa a través de un espesor dx de un absorbente, su intensidad disminuye según la siguiente forma:

$$-dI = I \cdot N \cdot \sigma \cdot dx$$

donde N es el número de átomos por cm^3 y σ la sección eficaz total correspondiente a las tres formas de absorción de rayos gama (efecto fotoeléctrico, efecto Compton y Producción de Pares).



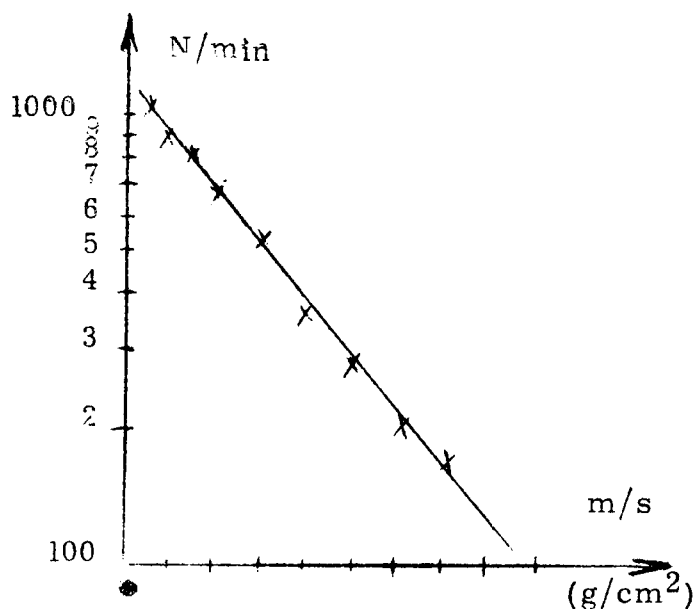
La intensidad I decrece exponencialmente con el espesor x

del absorbente o con su "mesa superficial" $\frac{m}{s}$ (g/cm^2).

$$I = I_0 e^{-(\mu/\rho) (m/s)}$$

donde μ/ρ es el coeficiente de absorción másico en cm^2/g .

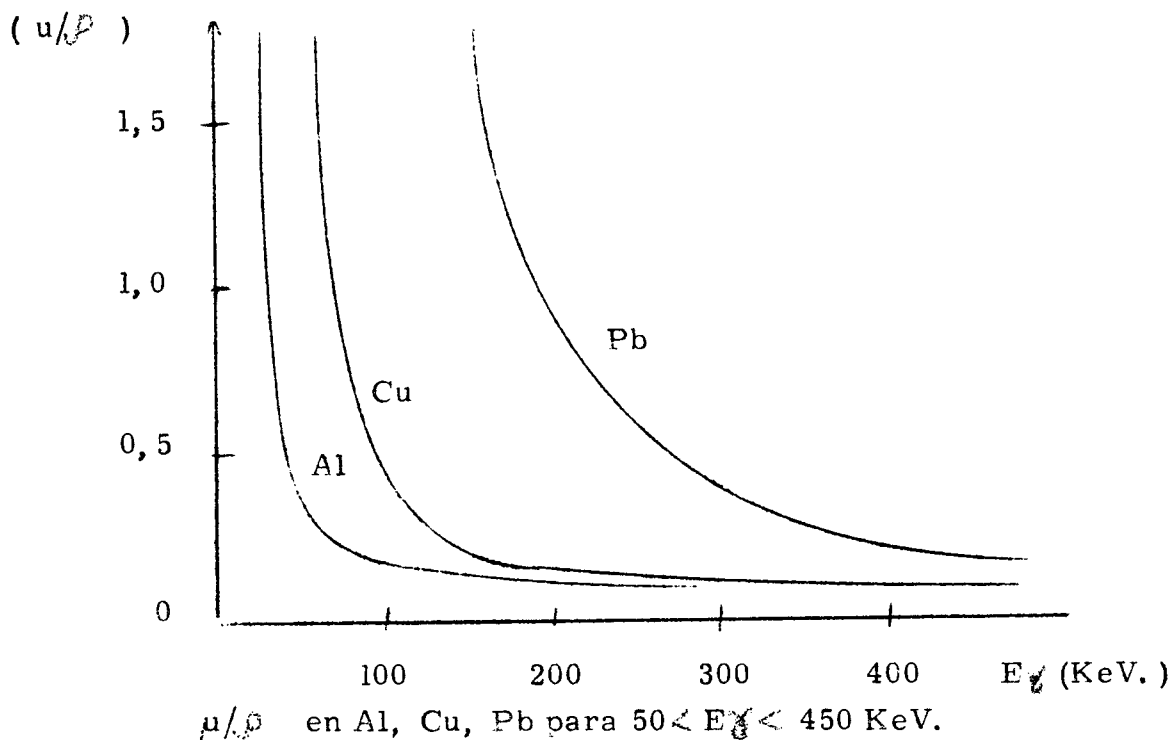
Si se representa en papel semilogarítmico la intensidad, es decir el número de impulsos por minuto, en función de la mesa superficial del absorbente, se obtiene una recta cuya pendiente es igual al coeficiente (μ/ρ)



Curva de absorción gama

El coeficiente de absorción másico μ/ρ es función del número atómico Z del absorbente y la energía E_γ del rayo gama.

Conociendo μ/ρ se puede determinar la energía gama de curvas como las de la figura siguiente:



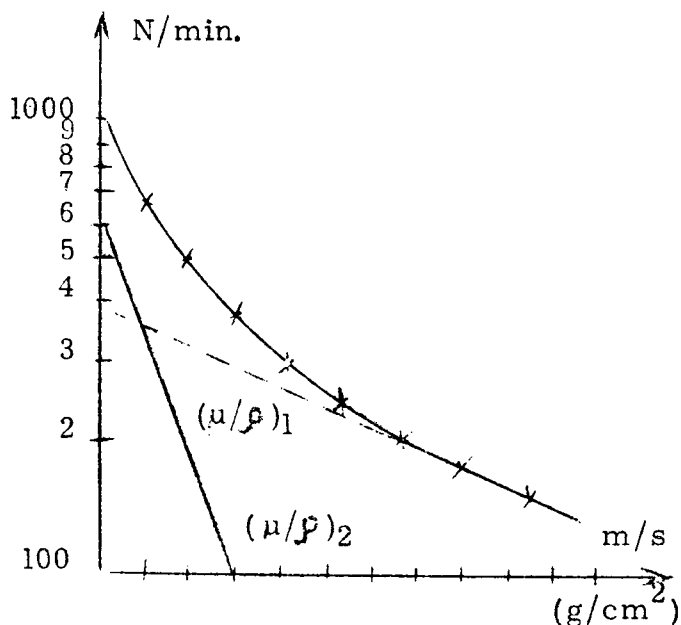
Prácticamente se determina el espesor (m/s) en g/cm^2 necesario para reducir la intensidad de la radiación gama a la mitad:

$$\ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = \ln. 2 = 0.693$$

$$\text{Como: } \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = (\mu/\rho) (m/s)$$

$$\text{resulta: } \mu/\rho = \frac{0.693}{m/s}$$

Cuando la muestra tiene varios rayos gama, la curva experimental de absorción puede ser descompuesta en varias rectas correspondientes a las diferentes energías gama:



Descomposición de una curva compleja.

La determinación de una "curva" de absorción gama con tubo Geiger-Müller, requiere algunas precauciones. En primer lugar debe usarse una fuente intensa, debido a la baja eficiencia del contador Geiger para fotones; además, deben eliminarse, por absorción los rayos beta o electrones secundarios presentes. Ya que la absorción de electrones da lugar a Bremsstrahlung, (radiación de frenamiento) es conveniente usar lámina metálica de Z bajo para reducir su intensidad sin producir simultáneamente radiación electromagnética continua. A fin de reducir a un mínimo otros efectos secundarios conviene evitar la proximidad de materiales especialmente de número atómico alto, o bien colocar la fuente lo más alejada posible del contador realizando una estricta colimación del haz, colocando los absorbentes a medio camino entre fuente y detector.

Trabajo práctico

Se determinará la "curva de absorción" de las radiaciones gamma de emisores que se indicarán usando como detectores tubos Geiger-Müller y espectrómetros de centelleo y como absorbentes láminas de plomo de diferentes espesores.

Si la sustancia activa es también emisor beta, cubrirla con una chapa de aluminio de suficiente espesor para absorber los electrones de energía máxima. Colocar también una chapa de Al de 3000 μ próxima al contador para eliminar electrones secundarios.

Medir hasta que la intensidad se haya reducido aproximadamente a un quinto del valor inicial.

Representar en papel semilogarítmico la intensidad de la radiación en función del espesor de absorbente (en g/cm^2). Hallar el semiespesor másico y encontrar la energía gama, recurriendo a gráficos apropiados (Cook y Duncan, pág. 107).

Material:

- 1) Fuentes de Co^{60} , I^{131} , Na^{24} , Zn^{65} y Hg^{203} , intensas
- 2) Juego de absorbentes de plomo de espesores variables entre 300 y 30.000 mg/cm^2 .

Práctica No. 14

ESPECTROMETRO DE CENTELLEO .

INTRODUCCION

Algunas sustancias centelleadoras, al ser atravesadas por una radiación o por una partícula, producen radiación electromagnética de frecuencia diferente a la incidente. La longitud de onda de estos fotones es característica de la sustancia e independiente a la partícula o radiación incidente, mientras el número de fotones es proporcional a la energía de la radiación incidente. Según el tipo de radiación que se quiere medir se elegirá un centellador apropiado; así, para los rayos gamma se usan cristales de NaI con pequeñas impurezas de Tl, mientras para la medición de rayos beta se usan como centelleadores sustancias orgánicas (antraceno, stilbeno, por ejemplo),

Para medir una determinada radiación de manera que el número de fotones producidos sea proporcional a su energía, esta radiación debe ser absorbida totalmente en el centelleador. De ahí que para medir energías de radiación gamma se usen cristales de sustancias de elevada densidad, mientras para absorber totalmente un rayo beta alcanzan pequeños espesores de sustancias orgánicas.

Los fotones producidos en el centelleador inciden sobre el fo tocátodo de un fotomultiplicador y producen, a la salida de este último una corriente de electrones, que posteriormente es amplificada. Esta corriente es proporcional al número de fotones o sea a la energía de la radiación que fué-

absorbida en el centelleador. Un sistema electrónico, selector de impulsos con discriminador, permite, según su altura, seleccionar los impulsos producidos por la corriente a la salida del fotomultiplicador y, unido a un escalímetro, registra aquellos cuyas alturas se encuentran en los límites fijados por el operador. El conjunto de centelleador, fotomultiplicador, amplificador, selector de impulsos y escalímetro se denomina espectrómetro de centelleo.

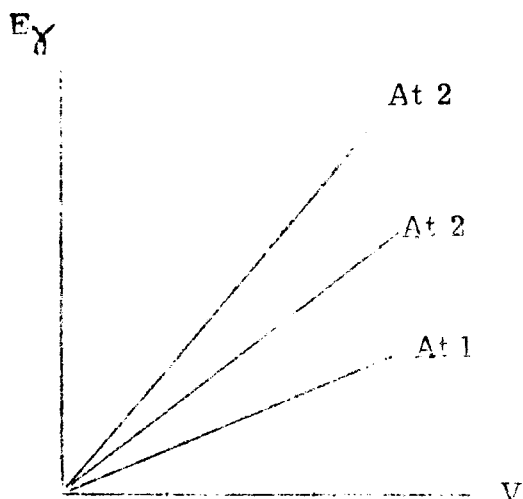
Experiencia

En un espectrómetro de centelleo con cristal de NaI (Tl) se quiere determinar la correspondencia entre el voltaje en el selector y la energía de la radiación gama medida, o sea, "calibrar el instrumento". Para esto se fija el "ancho del canal" en l v., es decir se limita la altura de los pulsos que pueden ser registrados a aquellos pulsos cuyas alturas están comprendidas entre v y $v + \Delta v$ donde Δv es el "ancho del canal".

Por otro lado se fija en la posición l la "Atenuación".

Como se vió anteriormente, un cambio en las posiciones del atenuador produce una variación en el tamaño de los pulsos. Prácticamente puede observarse que aumentando la atenuación, para un mismo voltaje del fotomultiplicador, pueden medirse energías más altas.

Fijada la atenuación y el ancho del canal en l v. se realiza la calibración con sustancias patrones cuyas radiaciones y energías son bien conocidas. Se usan fuentes de Na-22 y Cs-137. El primero tiene una radiación gama característica de 1,28 MeV y otro rayo gama de 0,511 MeV debido a la



aniquilación de positrones. El segundo emite un gama de 0,661 MeV.

Para cada una de estas fuentes se determina la actividad variando la posición del canal en el selector de volt en volt y se grafica en papel milimetrado la actividad en función del voltaje del selector empezando de 100 volts. hasta 0 volt.

Del gráfico resultan claramente los picos de energías "fotoeléctricos" correspondientes a las fuentes empleadas y en la parte inicial de la curva, los picos producidos por el efecto "Compton".

En el mismo gráfico se representan los espectros de las dos sustancias. Se toma ahora en la ordenada una escala arbitraria de energías adecuada a las energías gamas de estos nucleídos; sobre el eje de simetría de cada pico, se marca el valor correspondiente a la energía gama del nucleído respectivo y por los puntos así determinados se hace pasar una recta que nos dará la relación entre el voltaje del Selector y la energía de la radiación medida, = "calibración"

La misma "calibración" se repite para las diferentes posiciones del atenuador. En las "calibraciones" de rutina no es necesario graficar todo el espectro de la sustancia patrón, alcanza con tomar los puntos correspondientes al pico de energía característica.

Todas las calibraciones se realizan con ancho de canal de 1 volt.

Variando el ancho de canal queda fija la línea de base de terminada por la posición del canal en el selector modificándose únicamente el límite superior. Así en el caso extremo de la abertura total del discriminador (posición D) se miden todas las energías superiores a la fijada por la línea de base.

Obtenida la calibración se investigará el espectro gama de un emisor desconocido y se determinará sus energías gamas.

Material :

- 1) Fuentes patrones: Cs^{137} , Na^{22} , Hg^{203} , Zn^{65} , Co^{60} , Cr^{51} .
 - 2) Fuente problema.
-

Práctica No 15

SEPARACION DE Ra Y RaD A PARTIR DE MINERALES

INTRODUCCION

Esta práctica constituye un ejercicio de obtención de radionucleidos naturales. Se realiza sobre mineral de uranio, y el procedimiento seguido no es el único posible, pero es relativamente sencillo y apropiado para trabajo de curso. En líneas generales consiste en extraer del mineral la parte soluble en ácido nítrico y obtener a partir del mismo dos preparados: uno de Ra (Ra-226) y otro RaD (Pb-210) purificados, respectivamente.

Para ello se añade al extracto nítrico Ba^{++} y Pb^{++} como portadores inactivos del Ra y del RaD y se efectúa la separación analítica de ambos cationes, purificándolos con respecto a otros radionucleidos y precipitándolos finalmente.

Marcha.

A-1) Digerir en un vaso de precipitados de 100 ml cubierto con vidrio de reloj, aproximadamente 2-3 gr. de mineral de uranio con unos 20 ml de ácido nítrico concentrado, calentando sobre baño de arena o placa calefactora durante unas dos horas.

A-2) Enfriar, diluir con agua a unos 50 ml y agregar 50 mg. de Ba^{++} y 50 mg. de Pb^{++} (soluciones de 50 mg/ml.). Filtrar por filtro rápido (de pliegues, por ejemplo), recogiendo en vaso de 250 ml. Lavar la ganga por decantación en el vaso y luego en el filtro, con agua caliente, hasta

obtener lavados prácticamente libres de Fe^{++} . Desechar la ganga.

A-3) Agregar hidróxido de amonio hasta que el precipitado que se forma sea difícil de redissolver. Agregar con espátula carbonato de sodio (o de amonio) sólido en exceso: como resultado precipitan carbonatos e hidróxidos quedando el uranio disuelto como carbonato complejo doble de uranio y sodio. Entibiar, mantener unos minutos en digestión y filtrar por papel rápido (SS, banda negra o Whatman 41) o centrifugar. El uranio pasa en el filtrado; lavar ligeramente con solución saturada de carbonato de sodio.

A-4) El precipitado se disuelve en el filtro que se mantiene semitapado con vidrio de reloj, con unos 20 ml. de ácido nítrico (1+4) que -- puede volverse a pasar por el filtro si es necesario; lavar con agua. Recoger en vaso de 150-250 ml. Precipitar nuevamente procediendo como en A-3), incluso el lavado.

A-5) Disolver en unos 30-40 ml. de ácido clorhídrico y calentar a ebullición; agregar 2-3 ml. de solución saturada de hipofosfato de sodio e igual volumen de solución de Zr^{4+} (de 10 mg. Zr/ml.). Filtrar el precipitado al vacío, bien en caliente, usando papel de filtro coloidal y lavar con agua caliente. Calentar a ebullición y repetir la precipitación, filtrado y lavado.

A-6) Neutralizar el filtrado al tornasol con hidróxido amónico y agregar un volumen de ácido clorhídrico (1+3) igual a un décimo del volumen total. Calentar a ebullición y pasar corriente de ácido sulfídrico has-

ta buena coagulación de sulfuro de plomo; hacia el final del pasaje del gas - conviene diluir con un poco de agua. Filtrar al vacío y lavar con agua saturada de sulfhídrico, que contenga un poquito de cloruro de amonio.

A-7) Poner el filtrado a hervir para eliminar ácido sulfhídrico; por otra parte disolver el sulfuro de plomo, en su filtro, con unos 10-20 ml de ácido nítrico (2+1), calentando a ebullición.

Al llegar a este punto, la solución nítrica de plomo contiene el radio D (Pb-210) y la solución clorhídrica de bario contiene el radio - - (Ra-226). Trataremos ambas fracciones separadamente:

B) FRACCION PLOMO. Purificación y precipitación final .

B-1) Concentrar la solución nítrica casi a sequedad; agregar unos 2 ml de ácido clorhídrico concentrado y evaporar nuevamente casi a seco. Repetir hasta eliminación de vapores rutilantes.

B-2) Diluir con agua hasta 50 ml. , agregar unos miligramos de Ba^{++} ; precipitar nuevamente sulfuro de plomo, como en A-6) y disolverlo como en A-7).

B-3) Llevar casi a seco; añadir 10 ml. de ácido clorhídrico concentrado caliente e igual volumen de agua, y dejar en reposo. Anotar la hora en que comienza a precipitar cloruro de plomo, la cual corresponde al -- tiempo cero del RaD.

B-4) Dejar enfriar bien, filtrar por vacío , lavar con alcohol y montar sobre soporte de aluminio, cubriendo con celofán.

Medición.

RaD 19 años RaE 5 días RaF 138 días RaG
(Pb-210) B- (Bi-210) B- (Po-210) ~~B-~~ (Pb-206)

Las radiaciones beta del RaD, muy blandas y las alfa del RaF no se miden con Contador Geiger de pared gruesa. El RaG es estable. Si el RaD se ha obtenido puro no tendrá actividad medible inicialmente, luego se irá formando RaE, de radiación beta dura, cuya actividad crecerá paulativamente hasta ponerse en equilibrio con su madre de 19 años.

C) FRACCION BARIO. Purificación y precipitación final.

C-1) A la solución clorhídrica se agrega acetato de amonio sólido hasta pH 6, se calienta y se precipita con solución de cromato de sodio.

C-2) Se digiere por cinco minutos y se filtra al vacío, se lava ligeramente con agua; se redisuelve en poco clorhídrico concentrado, lavando el filtro coloidal con agua.

C-3) Se añaden unos miligramos de Fe^{+++} , se precipita hidróxido férrico con hidróxido amónico libre de anhídrido carbónico; se pasa sulfhídrico hasta obtener una buena coagulación de sulfuros, se filtra por papel SS banda blanca y lava ligeramente con agua sulfhídrica.

C-4) El filtrado se acidula con ácido clorhídrico hasta 1% en volumen, se añaden unos miligramos de Pb^{++} y se precipita como sulfuro.

furo nuevamente, en caliente; filtrar por papel banda blanca y lavar.

C-5) Se repite la precipitación de plomo hasta obtener un precipitado de sulfuro inactivo .

C-6) Se hierve el filtrado para expulsar el ácido sulfhídrico, se alcaliniza con hidróxido de amonio, se añade carbonato de amonio sólido y se hierve uno o dos minutos; se toma la hora de precipitación del carbonato de bario (tiempo cero para radio-226)

Medición.

| | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------|------------------|----------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|--------------------|
| Ra
(Ra-226) | 1620 años
α | Rn
(Rn-222) | 3,8 días
α | RaA
(Po-218) | 3 min.
α | RaB
(Pb-214) | 27 min.
β |
| RaC
(Bi-214) | 20 min.
β | RaC'
(Po-214) | 164 μ seg.
α | RaD
(Pb-210) | 19 años.
β | | |

Con tubo Geiger de pared gruesa se miden los rayos beta de RaB y RaC; como ambos son de períodos de desintegración cortos se establece el equilibrio con el antecesor más largo, es decir, el Ra-226. Se alcanza actividad constante cuando se llega al equilibrio Rn-Ra-226, es decir, después de unos 25 días.

NOTA: El mineral de uranio contendrá siempre una ligera proporción de U-235 y sus hijas (familia del actinio), entre las cuales hay radios y plomos activos, pero su proporción es despreciable.

Si el mineral contiene torio, aparecerán otros productos como MsTh_1 y ThX y sus hijas acompañando el Ra, y ThB y descendientes con el RaD

Material :

- 1) Mineral de uranio (que no contenga torio).
- 2) Acido nítrico concentrado
- 3) Solución de Ba^{++} (50 mg. Ba. /ml)
- 4) Solución de Pb^{++} (50 mg. Pb/ml)
- 5) Hidróxido de amonio
- 6) Carbonato de sodio
- 7) Acido clorhídrico
- 8) Hipofosfato de sodio (en solución)
- 9) Solución de Zr^{++} (10 mg. Zr/ml)
- 10) Acido sulfhídrico
- 11) Acetato de amonio
- 12) Cromato de sodio en solución
- 13) Solución de Fe^{++} (10 mg. Fe/ml)

Práctica No 16

DETERMINACION DEL GRADO DE COPRECIPITACION DE Ce-144 Y
Pr-144 CON SULFATO DE BARIO Y CLORURO DE BARIO

INTRODUCCION

Se trata de ver en qué grado coprecipitan con un precipitado de $\text{SO}_4 \text{Ba}$ y de $\text{Cl}_2 \text{Ba}$, obtenidos en condiciones diferentes, el Cerio y el Praseodinio.

Se hará uso de una solución de Ce-144 (período de semidesintegración 232 días), en equilibrio con su hija Pr-144 (período de semidesintegración 17,5 min.)

Se precipitará en una solución conteniendo Ce-144 y Pr-144 en equilibrio, Bario como Sulfato en distintas condiciones; trabajando en frío -- (a), en caliente (b), en caliente pero incorporando muy poco exceso de sulfato (c), en caliente pero incorporando Cerio inactivo (d).

Además se tratará de oxidar el Ce^{III} a Ce^{IV} , se lo incorporará a una solución de Bario y después de haber agregado Lantano como portador de retención del Praseodimio se precipitará el Bario al estado de Sulfato (e).

Se aislará Bario al estado de cloruro de una solución -
conteniendo Cerio y Praseodimio activo (f).

En todos los casos los precipitados se medirán apenas ob-
tenidos y luego cada 10 minutos durante 40 minutos; si la actividad de -
los mismos permanece constante, indicará que el Cerio y Praseodimio -
se han absorbido en la relación correspondiente al equilibrio. Si la acti-
vidad crece se prueba que el Praseodimio se ha absorbido en menor -
proporción que el Cerio, y si decrece que el que en mayor grado se ha -
adsorbido es el Praseodimio.

La práctica comenzará con una determinación de la -
actividad de la solución activa de Bario y Praseodimio.

Material :

Solución de Cerio 144 y Praseodimio 144 en equilibrio
radioactivo.

Solución de Nitrato de Bario que contenga 50 mg. Ba^{++} /ml.

Solución de $SO_4 H_2$ concentrado.

Solución de ClH concentrado.

Solución de Sulfato de Cerio (Ce^{+++}) que contenga 10 mg.

Ce/ml.

Solución de Nitrato de Lantano (10 mg. La/ml)

Solución de NO_3H concentrado.

Bromato de Potasio

Amoniaco.

Práctica

Titulación de la solución de Cerio y Praseodimio.

Se toman 0,5 ml de solución de Ce-144 y Pr-144, se le agregan 20 mg. de Ce^{+++} inactivo como portador, se diluye con agua, se calienta a ebullición y se precipita con NH_3 . Se toma la actividad del precipitado.

a) En una solución conteniendo 50 mg. de Bario a la que se le ha incorporado un volumen de solución activa de Cerio-Praseodimio -- (alrededor de 2000 cuentas/minuto, medidas en las condiciones usuales), se precipita el Bario con un exceso de SO_4H_2 , en frío.

El precipitado se lava con solución sulfúrica al 1%. Se monta y mide en la forma indicada.

b) Se trabaja en la misma forma que en (a), pero llevando la solución de Bario a ebullición, antes de incorporar el SO_4H_2 .

c) Se trabajará como en (b) pero incorporando la cantidad estequiométrica de Sulfato.

d) Se trabajará como en (b) pero se incorporará 10 mg. de Cerio inactivo (Ce^{140}), como portador de retención para el Praseodimio. (Ce^{III}).

e) A un volumen de la solución de Cerio y Praseodimio activos (alrededor de 2000 cuentas por minuto) se le incorpora 20 mg. de Cerio inactivo (Ce^{140}), 8 ml. de NO_3H concentrado y una punta de espátula de BrO_3K ; se calienta para completar la oxidación.

En esta solución se precipitan en caliente 50 mg. de Bario con SO_4H_2 después de haber incorporado 20 mg. de La como portador de retención del Praseodimio.

f) Se parte de una solución preparada como en el caso (a) pero el Bario se precipita con ácido clorhídrico al estado de Cloruro.

Práctica No. 17

CROMATOGRAFIA DE PAPEL - SEPARACION DE URANIO DE
SUS HIJAS.

INTRODUCCION

La cromatografía de papel reemplaza a la destilación y a la cristalización fraccionadas en la separación de mezclas cuyos componentes se encuentran en muy pequeñas cantidades. A groso modo las técnicas cromatográficas pueden dividirse en tres grupos:

- 1) Cromatografía por partición.
- 2) Cromatografía por intercambio iónico.
- 3) Cromatografía por adsorción.

El último tipo es el clásico, existiendo de él muchas variantes según las técnicas utilizadas siendo una de ellas, la cromatografía sobre papel, la empleada en este trabajo.

Los detalles operatorios son los siguientes:

Sobre una banda de papel de filtro de características determinadas y a una cierta distancia (3 cm) de su extremo, se deposita en forma de trazo fino la mezcla a separar que en nuestro caso consiste de uranio y sus productos hijas. El papel así preparado se suspende dentro de una probeta (o tubo similar) de manera tal que su extremo inferior conteniendo la mezcla, quede sumergido en un solvente que contiene 20 partes de

$\text{NO}_3 \text{H}$ y 80 partes de éter. (El solvente no debe tocar la solución a analizar). De esta manera se deja el conjunto en reposo durante dos horas.

Al cabo de dicho tiempo, se quita el cromatograma del tubo y se procede a su estudio.

En primer término se determina el avance del uranio y del solvente y la relación entre ambos da el factor R_f , característico del elemento químico, papel y condiciones utilizadas. Luego se seca el cromatograma con una lámpara infrarroja, se corta una fina tirilla longitudinalmente y ésta se revela con $\text{Fe}(\text{CN})_6 \text{K}$.

En el cromatograma restante, se determina, utilizando condiciones geométricas apropiadas, la actividad cada medio cm, comprobándose que el máximo de ésta prácticamente no se ha desplazado del sitio en que fuera colocada la solución activa, constatándose así la separación del uranio de sus hijas.

Material :

- 1) Solución de nitrato de uranio, conteniendo una buena proporción de sus productos de desintegración.
- 2) Eter.
- 3) Acido nítrico concentrado
- 4) Papel Wattman No 1 para cromatografía.
- 5) Ferrocianuro de potasio
- 6) Acido clorhídrico.

Práctica No. 18

SEPARACION DE CERIO Y PRASEODIMIO .

INTRODUCCION

El Ce-144 se desintegra con un período de 270 d. emitiendo rayos beta de unos 0,3 MeV a Pr-144 de 17,5 m. de período y que emite rayos beta de unos 3 Mev. de energía.

La separación de estas dos tierras raras es químicamente posible con métodos corrientes gracias a que el cerio forma compuestos estables con valencia cuatro, mientras el praseodimio permanece en estado trivalente.

El iodato cérico es fuertemente insoluble en ácido nítrico concentrado, siendo muy soluble el iodato de praseodimio en las mismas condiciones.

Aprovechando esta propiedad se puede separar el cerio del praseodimio y medir así por separado las actividades de cada uno de ellos. Si absorbemos con un espesor de aluminio apropiado los rayos beta del Ce¹⁴⁴, la curva de actividad del preparado de cerio mostrará el crecimiento de la actividad de Pr¹⁴⁴ en la madre, mientras el preparado de praseodimio tendrá una curva de desintegración característica del

Pr^{144} .

Parte experimental

A una solución nítrica 15 M. que contiene Ce^{144} - Pr^{144} sin portador y en equilibrio se agregan 10 mg. de Ce (III) y 10 mg. de lantano (III). Para oxidar todo el Ce (III) a Ce (IV) se agrega aproximadamente 1 g. de BrO_3K y se lleva a ebullición. En estas condiciones se precipita $(\text{IO}_3)_4\text{Ce}$ con 10 ml. de una solución saturada de IO_3K en ácido nítrico 15 M. Después de enfriar se filtra el precipitado tomando como tiempo cero para las mediciones el tiempo medio de filtración.

El filtrado, que contiene Pr^{144} y lantano como portador, se diluye con agua, se neutraliza y se precipita con hidróxido de amonio $\text{La}(\text{OH})_3$ que arrastra el Pr^{144} .

Se mide también la actividad de este preparado con el mismo absorbedor de aluminio usado en el caso anterior.

Se dibujan en el mismo gráfico las curvas de actividad de los preparados. Si la separación ha sido satisfactoria, la suma de las ordenadas de ambas curvas será constante para cualquier tiempo y coincidente con la actividad del preparado de cerio después

de alcanzado el equilibrio: $\text{Ce}^{144} - \text{Pr}^{144}$.

Material:

- 1) Solución de $\text{Ce}^{144} - \text{Pr}^{144}$ en equilibrio radioactivo.
- 2) Solución de Ce^{III} (10 mg Ce/ml)
- 3) Bromato de potasio ($\text{BrO}_3 \text{ K}$)
- 4) Iodato de potasio ($\text{IO}_3 \text{ K}$)
- 5) Acido nítrico concentrado
- 6) Solución de La^{+++} (10 mg. La/ml).
- 7) Hidróxido de amonio.

Práctica No. 19

DETERMINACION DEL FLUJO DE NEUTRONES RAPIDOS POR MEDIO
DE UN PROCESO SZILARD-CHALMERS EN MANGANESO

INTRODUCCION.

En el método descripto en 1) entran neutrones rápidos en un recipiente grande con agua y se transforman en neutrones térmicos por medio de colisiones elásticas con protones. Los neutrones térmicos di funden en el agua y terminan su vida con la formación de deuterones o isótopos de alguna sustancia agregada, como consecuencia de un proceso (n, γ) . Su vida media en agua es muy corta (2.10^{-4} seg.) y la probabilidad para su desintegración beta despreciable. Si se forman nucleídos activos, se puede calcular el flujo de neutrones rápidos de la actividad inducida.

Para eliminar todos los neutrones térmicos se envuelve el recipiente con chapas de cadmio de 1 mm, de espesor. Los neutrones rápidos se absorben en esta chapa en menos del 2%, mientras que los neutrones térmicos se absorben al 99,998%.

1) National Nuclears Energy Series, Tomo V-3, pág. 131.

Como sustancia a activar se usa con preferencia el manganeso. Su período de semidesintegración de 2,59 horas es tan conveniente como la sección eficaz alta para absorción de neutrones térmicos. Además, como tiene un solo isótopo estable, con un proceso (n, γ) se obtiene un sólo nucleído activo.

El efecto Szilard-Chalmers en el permanganato es bien conocido. Como consecuencia de la reacción nuclear (n, γ) el átomo activo formado, sale, por retroceso, de la molécula de permanganato y se puede separar y concentrar como dióxido de manganeso. La eficiencia del proceso depende de la concentración del permanganato y del pH de la solución. Según Libby se separa el manganeso activo en un 92-95 % en concentraciones de 0,2-0,9 n. en soluciones cuyo pH varía entre 3 y 10. Como se sabe que no hay intercambio entre el MnO_4^- disuelto y el MnO_2 sólido, no es necesario apurar mucho la separación química.

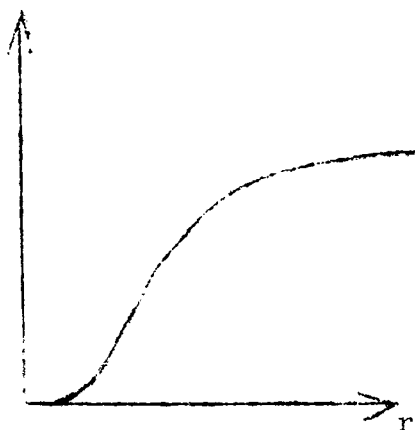
De todos los neutrones que se absorben en la solución, se utiliza una parte en la formación de deuterio y otra parte en la formación de Mn^{56} . La fracción absorbida por el manganeso se calcula fácilmente del número de átomos presentes y de las secciones eficaces correspondientes.

$$F = \frac{N_{Mn} \cdot \sigma_{Mn}}{N_{Mn} \cdot \sigma_{Mn} + N_H \cdot \sigma_H} = \frac{N_{Mn}}{N_{Mn} + N_H \cdot \sigma_H / \sigma_{Mn}}$$

$$\sigma_H / \sigma_{Mn} = 0,31/11,8 = 0,026$$

En un recipiente de dimensiones muy grandes se absorben todos los neutrones rápidos. Si se trabaja con un recipiente relativamente pequeño, hay que apreciar o determinar con experimentos el porcentaje que se pierde sin activar el manganeso.

Para las correcciones en el cálculo ver los datos experimentales indicados en el tomo V-3 de National Nuclears Energy Series, página 131.



La curva da, para una fuente de neutrones en el centro de un gran frasco de agua, el porcentaje que se absorbe dentro de un cierto radio.

Se puede ver, que a una distancia de 20 cm. de la fuente, quedan todavía 20% de neutrones no absorbidos. Esta curva depende lógicamente mucho del espectro de energías de neutrones de la fuente utilizada.

La energía disminuye su valor rápidamente después de pocas colisiones mientras la sección eficaz de dispersión crece para energías bajas. Teniendo en cuenta todas estas consideraciones supondremos que se absorben en un frasco de 21 cm. de diámetro y 23 cm. de altura, 60-70% del flujo de los neutrones que entran.

Práctica :

Tomar unos 8 litros de una solución MnO_4K de $\text{pH} = 2$ (470 g. de MnO_4K disueltos en 8 litros de H_2O). Filtrarla por medio de un embudo de placa filtrante grande para eliminar el MnO_2 en exceso.

Someter esa solución al flujo de neutrones durante 1 hora aproximadamente.

Filtrar 2,2 litros de la solución por filtro coloidal ubicado en un embudo Buchner de 7 cm. de diámetro aproximadamente. Durante la irradiación se forma bastante MnO_2 inactivo, así que no se necesita agregar MnO_2 como portador.

Disolver el precipitado con 30 ml. de HCl al 5% y un poco de H_2O_2 . Agregar a la solución NH_3 y H_2O_2 (cuidado: reacción fuerte) y filtrar el precipitado de MnO_2 nuevamente, usando filtro coloidal y un embudo pequeño. La filtración es cuantitativa.

Medir la actividad del precipitado seco con un tubo Geiger-Müller de pared de vidrio de 35 mg/cm^2 . Llevar la actividad a saturación y hacer las siguientes correcciones:

a) Por volumen de solución utilizada.

b) Por eficiencia del tubo Geiger Müller a la radiación beta del Mn^{56} .

- c) Por autoabsorción
- d) Por eficiencia del proceso Szilard-Chalmers (90%).
- e) Por pérdida de neutrones rápidos con respecto a los que entran al recipiente (65%).
- f) Por neutrones rápidos absorbidos en la chapa de Cd (2%).
- g) Por fracción de captura para Mn.

Aplicar la fórmula siguiente y calcular el flujo de neutrones rápidos:

$$A = N_0 \cdot \sigma \cdot \phi \cdot (1 - e^{-\lambda t}) e^{-\lambda t}$$

Material:

- 1) 470 g. de MnO_4K .
 - 2) 8 litros de agua.
 - 3) Fuente de neutrones (Ra-Be)
 - 4) Amoníaco.
 - 5) Agua oxigenada.
-

Práctica No. 20

DETERMINACION DEL FLUJO DE NEUTRONES TERMICOS

INTRODUCCION

Se expone al flujo de neutrones térmicos dos chapas de material de alta sección eficaz de captura y en el que se forme un nucleído de período de semidesintegración relativamente corto (p. ej. : In, Rh). Una de las chapas debe estar puesta dentro de un sobre de Cd de manera tal que la chapa descubierta sea activada por los neutrones térmicos y rápidos, mientras que la cubierta con Cd sea activada sólo por los rápidos.

Una vez irradiadas ambas chapas y anotando el tiempo de fin de irradiación se efectúa la determinación de su actividad en función del tiempo. Seguidamente, se calcula la actividad al fin de irradiación mediante uno de los métodos siguientes:

1) Aplicando la fórmula:
$$A_0 = \frac{A}{e^{-\lambda t}}$$

II) Extrapolando gráficamente. Una vez conocida la actividad a tiempo cero en cada una de las láminas, aplicar varios factores de corrección:

- a) Por superficie de las chapas.
- b) Por rendimiento del tubo Geiger-Müller.
- c) Por absorción de neutrones rápidos en la envoltura de Cd (2%).

d) Por autoabsorción en el material irradiado. Para ello se aplica la siguiente fórmula: $A = A_0 \mu \cdot d \cdot \frac{1}{1 - e^{-\mu d}}$

Corregidas las A_0 para ambos casos, se establece su diferencia para conocer la activación debida a los neutrones térmicos únicamente.

Finalmente se calcula el flujo, aplicando la fórmula:

$$f = \frac{A}{S (1 - e^{-\lambda t}) (1 - e^{-N_0 \sigma / S})}$$

Siendo f = flujo de neutrones térmicos .

A = actividad corregida.

S = superficie de las chapas.

λ = constante de semidesintegración

N_0 = número de átomos del material irradiado.

σ = sección eficaz de captura de neutrones térmicos.

El flujo se expresa en $\text{cm}^{-2} \text{seg}^{-1}$.

Material:

- 1) Una lámina de In o Rh
- 2) Una fuente de neutrones rodeada de parafina.

Práctica No 21

METODO DE SZILARD-CHALMERS PARA LA OBTENCION DE I^{128}

INTRODUCCION

Cuando se produce una reacción nuclear el nucleído formado tiene una energía de retroceso que puede ser mucho mayor que la energía (1 a 5 eV) que mantiene su átomo unido a la molécula de que forma parte, pudiendo separarse de ella.

El átomo que se separó de la molécula se encuentra en un estado químico diferente de los otros que no han sufrido reacción nuclear.

El ejemplo clásico de este proceso es la obtención de I^{128} a partir de ioduro de etilo o de metilo con neutrones térmicos.

El I^{128} se forma por la reacción $I^{127}(n,\gamma) I^{128}$ con los átomos de iodo del ioduro de etilo. Como consecuencia de la reacción nuclear se separa el I^{128} en estado iónico. Si agitamos el ioduro de etilo con agua, la mayor parte de estos átomos pasarán a la fase acuosa. Encontramos entonces en esta fase núcleos de I^{128} prácticamente sin portador inactivo.

Como se ve, este método es particularmente útil para la obtención de sustancias con muy alta actividad específica.

Práctica:

Se irradia ioduro de etilo o de metilo con neutrones térmicos durante 30 minutos. Se agita éste con una solución acuosa que contenga

ga unos 8 mg. de ioduro de potasio como portador y unos 10 mg. de bisulfito de potasio a fin de reducir todo el yodo iónico a iones ioduro.

Se agregan unos 5 mg. de nitrato de plata y se precipita en medio nítrico, ioduro de plata.

El agregado de ioduro de potasio como portador en la extracción es conveniente para aumentar el rendimiento de la separación.

El ioduro de plata se filtra y se mide con un contador -- Geiger-Müller. La curva de desintegración corresponde al período de 25 m. de I^{128} .

Material:

- 1) Ioduro de etilo o metilo
 - 2) Ioduro de potasio
 - 3) Bisulfito de potasio
 - 4) Nitrato de plata
 - 5) Acido nítrico
-

Práctica No 22

REACCIONES NUCLEARES

Determinación de Secciones Eficaces. --

INTRODUCCION

Recordaremos que para una reacción nuclear: $N_p = N_A \cdot \sigma \cdot \phi$ donde N_p es el número de procesos que se realizan en la unidad de tiempo, N_A es el número de átomos expuestos al flujo ϕ (expresado en número de partículas por unidad de tiempo y por centímetro cuadrado) y σ es la sección eficaz de la reacción en estudio. En la determinación experimental de la sección eficaz la medición del flujo presenta serias dificultades. Para obviar las mismas, habrá que hacer uso de una reacción cuya sección eficaz sea conocida y, por comparación, obtener la desconocida.

Si irradiamos una sustancia un tiempo suficientemente largo como para que la actividad del nucleído radiactivo formado sea la de saturación, el número de procesos en la unidad de tiempo será igual al número de desintegraciones de la sustancia formada en la unidad de tiempo. Luego podemos escribir:

$$A_S = N_A \cdot \sigma \cdot \phi$$

Si en la misma irradiación se forma, por una reacción diferente cuya sección eficaz es conocida, otro nucleído radiactivo, para esta nueva reacción se cumple:

$$A_{S1} = N_{A1} \sigma_1 \varphi$$

donde A_{S1} es la actividad a saturación del nucleído patrón formado, N_{A1} el número de nucleos "blanco" y σ_1 la sección eficaz conocida. Puesto que la irradiación fué simultánea para las dos reacciones el flujo es igual en ambas. Luego:

$$\frac{A_S}{A_{S1}} = \frac{N_A \sigma}{N_{A1} \sigma_1}$$

y si las dos reacciones consideradas se realizan sobre el mismo nucleído "blanco"

$$\frac{A_S}{A_{S1}} = \frac{\sigma}{\sigma_1}$$

$$\sigma = \frac{A_S}{A_{S1}} \sigma_1$$

En general las irradiaciones no se prolongan un tiempo suficiente como para que la actividad de los nucleídos formados alcance las condiciones de saturación, de manera que habrá que obtener ésta por cálculos a partir de la actividad medida a fin de irradiación:

$$A_t = A_S (1 - e^{-\lambda t})$$

$$A_S = \frac{A_t}{1 - e^{-\lambda t}}$$

donde A_t es la actividad al fin de irradiación, λ es la constante de des

integración para el nucleído formado y t es el tiempo de irradiación.

Parte Experimental

Se quiere encontrar las secciones eficaces para las reacciones $Al^{27}(d, 2p)Mg^{27}$ y $Al^{27}(d, p)Al^{28}$

Irradiando una pequeña lámina de aluminio se forman, -- después de algunos minutos de irradiación, Na^{24} , Mg^{27} y Al^{28} . Se obtie -- nen también otros nucleídos de períodos más cortos que no son medibles -- después de 2 o 3 minutos del fin de irradiación. El Na^{24} se forma por la re -- acción $Al^{27}(d, \alpha p)Na^{24}$ cuya sección eficaz ha sido determinada por -- Batzel et al.

El Mg^{27} y Al^{28} se forman por las reacciones cuyas seccio -- nes eficaces se quieren determinar.

Se irradia durante dos minutos, una pequeña lámina de alu -- minio con deuterones de 28 MeV, anotando el tiempo de iniciación y fin -- de irradiación.

Apenas terminada la irradiación se corta una pequeñísima fracción de la lámina y se mide la curva de desintegración con un tubo Gei -- ger-Müller

En la curva de desintegración se analizan los tres perío -- dos que la componen y se obtienen por extrapolación las actividades de -- Al^{28} , Mg^{27} y Na^{24} a fin de irradiación.

Para el cálculo de las secciones eficaces se aplica la fórmula (1) considerando A_{S_1} la actividad a saturación del Na^{24} y As respectivamente las actividades de Mg^{27} y Al^{28} . El valor de σ_1 dado por Batzel e. al. es, para deuterones de 28 MeV, de 34 mb.

Material :

- 1) Una lámina de aluminio.
 - 2) Deuterones de 28 MeV. de energía.
-

Práctica No. 23

DETERMINACION RADIOMETRICA DEL CONTENIDO DE URANIO EN

MINERALES

INTRODUCCION

Fundamento del método

Se compara la actividad de una muestra pesada de mineral de uranio con la de una muestra patrón del mismo peso cuyo contenido de uranio se determinó previamente por cualquiera de los métodos convencionales. La relación de actividades nos permite conocer la cantidad de uranio en la muestra problema:

$$P_X = \frac{A_X}{A_p} P_p$$

donde A_X , P_X y A_p , P_p son las actividades y los porcentajes de la muestra problema y de la muestra patrón respectivamente.

Este método, si bien no es de gran exactitud, tiene la ventaja de ofrecer un procedimiento rápido de determinación del contenido de uranio en minerales. Para que este procedimiento pueda ser aplicado es necesario que el mineral no contenga más que sustancias radiactivas de la familia del elemento que se quiere determinar; así pues es muy perjudicial para las determinaciones de uranio la presencia de torio en el mineral en examen.

Hay que asegurarse que el uranio esté en equilibrio radiactivo con todas las sustancias hijas, es decir que ningún procedimiento físico o químico del mineral haya alterado su composición radioquímica. La molienda del mineral no influye en forma apreciable en las determinaciones.

Práctica:

Se preparan los patrones pesando 2,00 g. de mineral de uranio finamente pulverizado y de diferentes leyes (0,1% ; 0,5% ; 1% ; 3% de U_3O_8 por ejemplo.).

El polvo se comprime en pequeñas cápsulas de metal y se fija la cápsula a un soporte de aluminio.

Dos gramos de la muestra problema pulverizada se disponen en la misma forma y se compara su actividad con el patrón cuya actividad más se le aproxima.

Las condiciones de medición han de ser exactamente iguales en las determinaciones de las actividades de las muestras patrones y la muestra problema.

Práctica No. 24

DETERMINACION INDIRECTA DEL PERIODO DEL ThX POR SEPARACION
CUANTITATIVA DE SUS HIJAS: ThB-ThC EN INTERVALOS.

INTRODUCCION

Teoría

Se conocen algunos ejemplos en los cuales no es posible la determinación directa del período de un nucleído, entonces se hace necesario el empleo del método indirecto que nosotros ejemplificaremos mediante el ThX.

El RdTh (Th-228) desintegra formando ThX (Ra-224). Un RdTh libre de Th se obtiene de MsThI isótopo del Ra separando el RdTh formado por la desintegración del MsThI, mediante Fe como portador.

El RdTh desintegra en ThX, de manera que debe separarse el ThX (Ra-224) solamente de ThB (Pb) ThC (Bi) y ThC'' (Tl) para obtener un preparado de ThX puro que forma entonces el ThB, ThC y ThC'' isótopos radiactivos beta, por los cuales se puede medir el período de desintegración del ThX.

Después de tres días (6 períodos de ThB aproximadamente) se establece prácticamente el equilibrio radiactivo entre ThX, ThB, (ThC y ThC''); si se precipita entonces sulfuro de plomo (portador del ThB) y bismuto (portador del ThC), y se mide la curva de caída que debe

rá corresponder al período del ThB, extrapolando la recta a la hora cero - (tiempo medio de filtración) nos dará un punto de la curva de caída del ThX, pues en ese momento el número de desintegraciones de ThX y ThB son las mismas, por tratarse del equilibrio.

Si el filtrado que contiene el ThX se deja nuevamente tres días aproximadamente (tiempo necesario para que se establezca el equilibrio ThX-ThB) y se precipita nuevamente sulfuros de Pb y Bi, procediendo en la extrapolación como en el caso anterior, se tendrá nuevamente otro punto de la recta de caída del ThX.

Siguiendo en la misma forma se obtiene la curva de desintegración y con ella el período del ThX.

Tiempo: Separación : 1 hora cada 3 días.

Medición : 1 vez cada 10 horas durante los 4 primeros días en cada precipitado y luego 1 vez por día.

Material: Preparado de RdTh.

Solución de Ba.

Acido sulfúrico

1 contador.

Preparación:

10 Portapreparados.

1 tubo Geiger-Müller de pared 27-30 mg/cm².

Química:

Disolver el precipitado de RdTh en HCl (al 15 o 20%), separar el ThX precipitando el RdTh en el laboratorio activo con Fe y NH_3 , agregando previamente 100 mg. de Ba, luego dos veces más en el laboratorio semiactivo (para evitar contaminaciones) agregando cada vez 200 mg de Ba. Precipitar luego todo el Ba con $\text{CO}_3^{=}$, dejar tres días habiendo -- previamente disuelto el precipitado en HCl al 1% y luego llevado a volumen en un matraz de 100 ml. Al cabo de los mismos tomar 1 ml. , precipitar como sulfuros el Pb y el Bi para calcular el número de mililitros que corresponden a unas 9.000 - 10.000 cuentas, que es con lo que se va a trabajar. En el número de milímetros establecidos precipitar Pb y Bi como sulfuros, tomar el tiempo de filtración y medir la actividad del preparado en función del tiempo trazando la curva de caída que deberá corresponder al período del ThB.

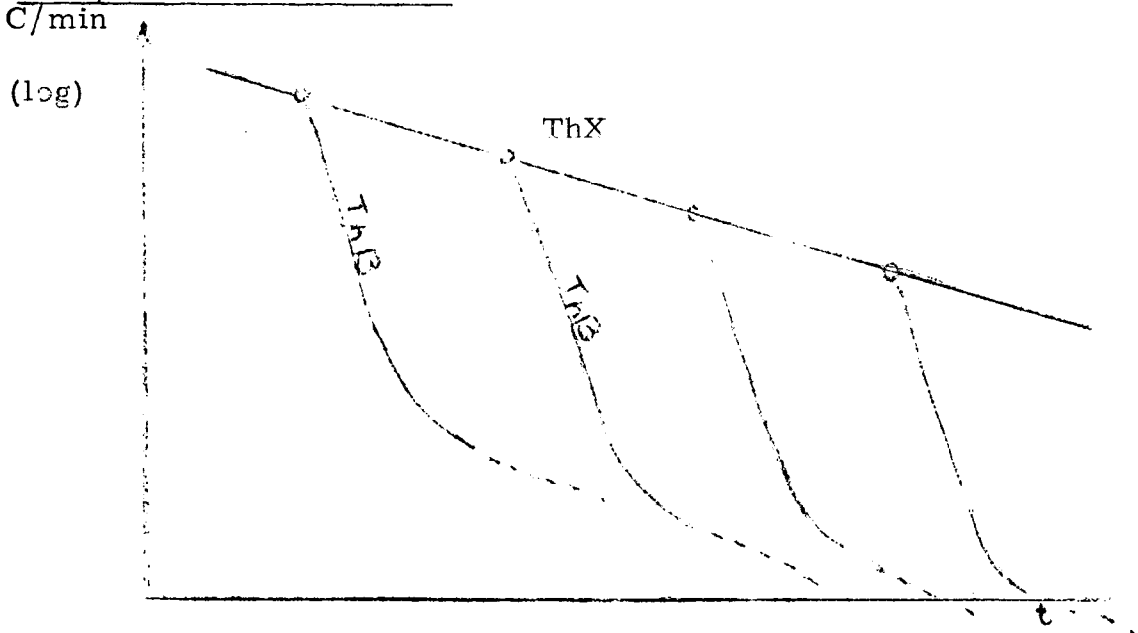
En el filtrado eliminar inmediatamente el SH_2 con corriente de CO_2 , para evitar que por acción del aire pase a $\text{SO}_4^{=}$. Dejar esta solución durante tres días, al cabo de los cuales precipitar nuevamente sulfuros de Pb y Bi, midiendo como en el caso anterior la curva de caída que lógicamente deberá corresponder nuevamente al ThB, haciendo la extrapolación como en el primer caso.

Repetir esto hasta que el ThX se desintegre prácticamente en forma total .

Puede realizarse un segundo método que presenta , con respecto al primero, algunas ventajas pero, también otros tantos inconvenientes.

En éste se trabaja siempre con la solución original de ThX, convenientemente separada de RdTh y, una vez que han transcurrido más de tres días de esta separación (tiempo prácticamente necesario para que se establezca el equilibrio ThX-ThB-ThC"). A partir de entonces y en días sucesivos, se hace, en un número de milímetros convenientemente calculados para que tengan aproximadamente el mismo número de desintegraciones de ThX, la precipitación de ThB y ThC usando como portadores Pb y Bi respectivamente. Trazando las curvas correspondientes para cada preparado y extrapolando al tiempo cero como en el primer caso, se obtendrá la curva de desintegración del ThX.

Interpretación de Curvas :



Haciendo una representación como se ha esquematizado en la figura se verá :

1) En los precipitados (1), (2), (3), etc. de sulfuros de Pb y Bi podría suceder que por arrastre de ThX o por no haber eliminado en forma exhaustiva el RdTh, al hacer la descomposición de la curva se notará la influencia de estos nucleídos en la misma: eso significará por lo tanto que al hacer la precipitación siguiente, la lectura será incorrecta por defecto, ya que falta la sustancia madre arrastrada por los precipitados anteriores y por lo tanto el número de nucleos de ThB y ThC que están en equilibrio con la sustancia madre presente es inferior al correspondiente a una buena precipitación. En estos casos los puntos D, E, F, etc. deberán corregirse obteniéndose así los puntos definitivos.

2) Podría suceder además que la curva de desintegración de ThX acuse la presencia de RdTh (obteniéndose un valor constante después que ha caído completamente el ThX) en cuyo caso hay que hacer la substracción como se usa regularmente.

En el "primer" método es posible trabajar con poca solución, sin embargo presenta el inconveniente de que el número de cuentas al final es muy reducido con lo que aumenta el error del método; esto no sucede en el "segundo". Además, en éste no influye un mal ensayo, pues el mismo puede repetirse inmediatamente, como así también puede hacerse un análisis de impurezas.

Se ve, por lo tanto, que la elección del método depende del caso particular que se esté tratando.

Material :

- 1) Solución de RdTh
 - 2) Solución de Fe^{+++} (10 mg Fe/ml)
 - 3) Amoníaco
 - 4) Solución de Ba^{++} (50 mg. Ba/ml)
 - 5) Carbonato de amonio (solución saturada)
 - 6) Solución de Pb^{++} (10 mg Pb/ml)
 - 7) Solución de Bi^{+++} (10 mg Bi/ml)
 - 8) Acido sulfídrico.
-

Práctica No 25

GASES DE FISION

INTRODUCCION

Se trata de separar de una solución irradiada de uranio los gases de fisión Xe y Kr y de ellos, luego, sus sustancias hijas.

Método :

La solución de U irradiada, encerrada en un frasco lavador, es conectada a través del tubo de secado y la trampa de refrigeración, con dos tubitos en U (véase figura). El tubo en U al final del aparato está conectado a la bomba de vacío.

1 - SEPARACION DEL GAS USANDO AIRE COMO GAS PORTADOR :

Para ello se cierra primero solamente la primera llave ubicada detrás de la solución de uranio, y se pone en funcionamiento la bomba de vacío. A continuación se abre cuidadosamente la llave hasta que pasen por la solución de uranio unas cinco burbujas de gas por segundo. En la trampa enfriada con hielo seco se separa el Kriptón, más liviano, y en la trampa enfriada con mezcla refrigerante se separa el xenón, más pesado.

2 - EVACUACION DEL SISTEMA :

Después de haber succionado aire a través del sistema durante cinco minutos se vuelve a cerrar la primera llave ubicada de--

trás de la solución de uranio y se abre la bomba completamente.

3 - SEPARACION DE LOS TUBITOS EN U EVACUADOS :

Una vez producido el vacío, cosa que se reconoce porque se achatan las piezas de unión de los tubos, se cierran las llaves de entrada y salida de cada tubo en U, y se separan los mismos.

4 - PASAJE DEL Xe^{138} AL TUBO CON LOS ELECTRODOS :

El tubo en U enfriado con mezcla hielo-sal es sacado de la mezcla refrigerante y por medio de una unión de vidrio es conectado con un vaso provisto de electrodos ya evacuados. Se abren las llaves entre ambos vasos y se sumerge el tubo en U durante aproximadamente 30 segundos en un vaso con agua casi hirviendo. Entre tanto se conecta el extremo aún libre del tubito en U con el gasómetro y se abre luego la llave entre ambos. Los gases desadsorbidos, son transportados por el aire introducido desde el gasómetro hasta el vaso con los electrodos (el gasómetro sirve para controlar la afluencia de aire).

5 - SEPARACION DE Cs^{138} DE LA ATMOSFERA DE Xe :

Se cierra la llave entre el vaso con los electrodos y el tubo en U y se conectan los electrodos a una batería de 400 volts. (el polo negativo de la batería al electrodo sobre el cual debe acumularse el Cs).

6 - MEDICION DE Cs-138 EN EL CARBONO :

Mientras el Xenón está adsorbido sobre el carbono la desintegración radiactiva produce Cesio que queda sobre el mismo. Se vierte una parte del carbono sobre un platillo de medición y se mide la actividad cada 8 minutos. El carbono residual es guardado en el tubito en U, para su uso posterior.

7 - VUELTA DEL Xe-138 AL TUBO A CON CARBONO ACTIVADO :

Unos 10-15 minutos después de la introducción del gas en el vaso con los electrodos, se desconecta la tensión. Manteniendo las llaves cerradas se conecta el vaso con los electrodos al tubo refrigerador y al tubo en U lleno de carbono, originalmente enfriado con hielo y ahora enfriado con acetona-hielo seco. El otro extremo del recipiente con los electrodos es conectado a través del tubito secador con el contador de burbujas, y el extremo libre del tubito en U es conectado a la bomba de vacío. Se abre la llave correspondiente muy lentamente y luego a partir de la bomba gradualmente las llaves del sistema hasta llegar a la última, situada detrás del electrodo. Esta es luego abierta cuidadosamente en forma tal que circule a través del sistema una corriente gaseosa de aproximadamente 10 burbujas/seg. Debe evitarse una mayor velocidad de burbujas. Después de dos minutos se cierran todas las llaves y se desconectan las conexiones.

8 - MEDICION DEL CATODO CON EL Cs-138 ELECTRODEPOSITADO:

Se sacan del vaso los electrodos y se los mide alternando las mediciones con las del carbono que contiene el Cesio (el ánodo es medido solo una vez, para compararlo posteriormente).

9 - TRANSFERENCIA DEL Xe-138 A LA CAMARA DE MEDICION :

Se cierra la cámara con un tapón de goma provisto de un tubo de vidrio. A través de este tubo la cámara se conecta con el tubo en U refrigerado que contiene Xenón. El otro extremo del tubo en U se conecta con la bomba de vacío; se evacúa entonces todo el sistema y se lo separa de la bomba de vacío mediante una llave. A continuación se saca el tubo en U de la solución refrigerante, se lo calienta en la mano hasta tener temperatura ambiente y se lo sumerge entonces en agua caliente. En vez de conectar con el vacío, se conecta ahora mediante un intercaldor de vidrio con el gasómetro.

Abriendo ahora la llave entre el tubo en U y el gasómetro, entra una corriente de aire que arrastra el Xe desadsorbido del carbono a la cámara de medición del contador. Se cierra la cámara con una llave y se mide el Xe inmediatamente.

Primero se lee cada 2 minutos y luego cada 10 minutos. Los valores de medición se registran sobre panel semilogarítmico. Pasados

unos 60 min., se retira el tapón de la cámara, se saca el gas y se efectúa inmediatamente la medición (desintegración Cs-138).

10 - PASAJE DEL Kr-88 A LA CAMARA DE GASES :

Dos o tres horas antes de iniciar el experimento se conecta el segundo tubo en U, refrigerado hasta ese momento, con la segunda cámara de gases. La bomba de vacío es conectada con el otro extremo del tubo en U. A continuación se evacúa todo el sistema y se lo separa de la bomba de vacío mediante una llave. Se saca el tubo en U de la solución refrigeradora y se lo sumerge en agua a aproximadamente 50°C . Ahora, en vez de conectar con el vacío, se conecta mediante un tubo de vidrio con el gasómetro. Después de calentar el tubo en U durante un minuto, se abre la llave entre el tubo y el gasómetro. Los gases desadsorbidos son arrastrados por la corriente de aire a la cámara de gases. Se cierra ahora la llave de la cámara, se desconecta el tubo en U y se mide la actividad en función del tiempo durante 75-90 minutos, primero a intervalos de 5 minutos, y luego de 10-15 minutos. Luego se elimina el gas y se prosigue la medición en la forma indicada (Desintegración Rb-88).

11 - MEDICION DEL Rb-88 EN EL CARBONO :

Una fracción del carbono del último tubo en U es medida sobre un platito, con un contador de ventana, varias veces cada cinco minutos (iniciase la medición inmediatamente después de introducir el Kr en la cámara.)

12 - SEPARACION DEL Xe-135 :

Mientras tanto, debido a la desintegración del yodo de fisión se volvió a formar Xe^{135} en la solución de uranio irradiada. Para detectarlo, después de haber transcurrido 5 o más horas desde la primera separación, se vuelve a hacer una separación de gases de la solución irradiada de uranio. Como describimos anteriormente, se hace pasar durante unos 10 minutos aire por la solución de uranio y a 78°C se desadsorbe el gas del carbono. Se transporta el gas a la cámara de medición en la forma ya descrita y se mide consecutivamente 3-6 veces. Si en este período de tiempo, debido a la presencia de Xe, la actividad no fuera constante, se prosigue la medición hasta obtener una actividad prácticamente constante. A la mañana siguiente se vuelve a medir el Xe^{135} y se determina el período de semidesintegración con la mayor exactitud posible.

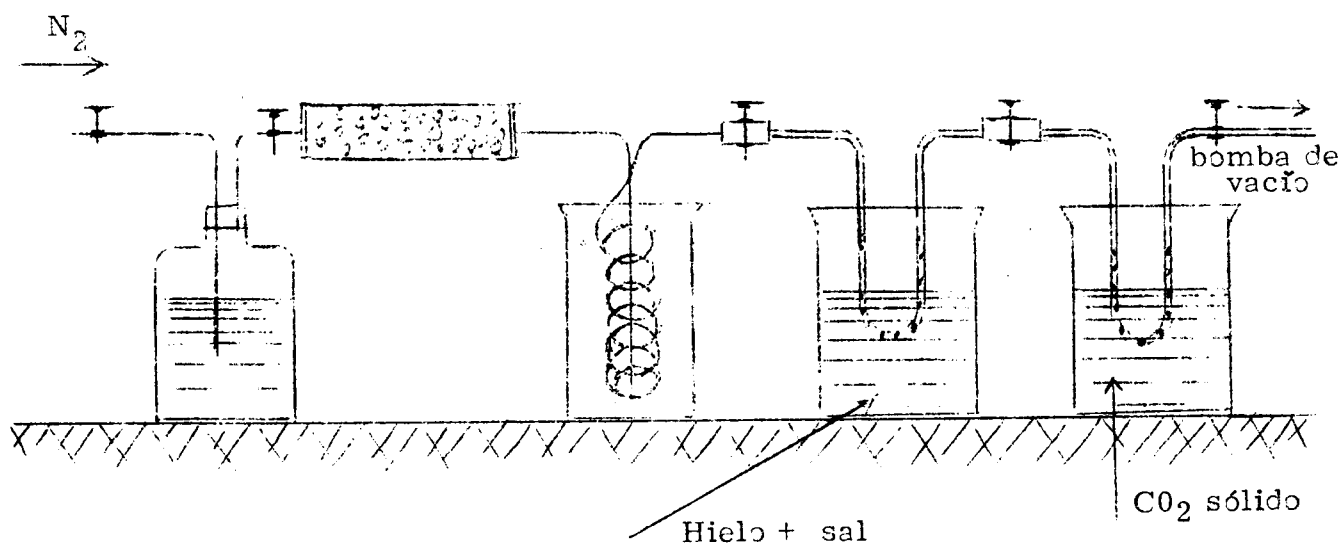


Fig. 1

LIBROS Y ALGUNAS OTRAS FUENTES DE INFORMACION EN TEMAS
VINCULADOS A LA "QUIMICA NUCLEAR"

- 1) Annual Reviews, Inc. , Annual Review of Nuclear Science, Vol. 1-9, 1952, Standford, California.
- 2) Bleuler E. , Goldsmith G. , Experimental Nucleonics, Rinehart and Co. , New York, 1952.
- 3) Broda E. , Advances in Radiochemistry, Cambridge University Press 1950.
- 4) Cook G. B. , Duncan J. F. , Modern Radiochemical Practice, Clarendon Press, Fair Lawn, N. J. , 1952.
- 5) Evans R. , The Atomic Nucleus, Mc Graw -Hill Co. , New York, 1955.
- 6) Friedlander G. , Kennedy J. W. , Nuclear and Radiochemistry, John Wiley and Sons, New York, 1955.
- 7) Katz J. J. , Seaborg G. T. , The Chemistry of the Actinide Elements, John Wiley and Sons, New York, 1957.
- 8) Seaborg G. T. , The Transuranium Elements, Yale University Press New Haven, Conn. , 1958.
- 9) Seelmann-Eggebert W. , Radiochemischer Isotopenkurs, Institute für Radiochemie, Kerneaktor Bau-und Betriebsgesellschaft, Karlsruhe, Germany.
- 10) Siri, W. E. , Isotopic Tracers and Nuclear Radiations, Mc. Graw - Hill Book Co. , New York , 1949.

- 11) Wahl A. C. , Bonner N. A. , Radioactivity Applied to Chemistry, John Wiley and Sons, New York, 1951.
- 12) Whitehouse W.J. Putman J.L. , Radioactive Isotopes, Clarendon, Press, Oxford, 1953
- 13) Coryell C.D. , Sugarman N. , Radiochemical Studies : The Fission Products, National Nuclear Energy, Series IV, Vol 9, (3 libros), 1951, Mc. Grow-Hill Book Co. , New York.
- 14) Govaerts Jean, Introduction a' la Chimie Nucléaire, Dunod, Paris, 1961.
- 15) Frisch O.R. , The Nuclear Handbook, George Newnes Ltd. , London, 1958.
- 16) Glasstone, S. , Source on Atomic Energy D. Van Nostrand, 1950.
- 17) Progress in Nuclear Physics, Frisch, O.R. , F.R.S. (Editor), Academic Press Inc. , 1953
- 18) United Nations : "Peaceful Uses of Atomic Energy", Vols 1-15, ; Proceedings of the International Conference in Geneva, August 1955. Columbia University Press, New York, 1956.
- 19) UNESCO International Conference on Radioisotopes in Scientific Research, Paris, September , 1957. Pergamon Press, New York. Abstracts of papers, Intern. J. App. Radiation Isotopes 2, 179-264 (1957).

- 20) Haissinsky, M. , Nuclear Chemistry and Its Applications,
Masson and Co. , Paris, (1957).
- 21) Fermi, E. , Nuclear Physics, Revised Edition, University of
Chicago Press, 1950.
- 22) Pollard, E. , and Davidson, W.L. Applied Nuclear Physics, Second
Edition, Wiley and Sons, Inc. , Second ed. 1951.
- 23) Heisenberg, W. , Nuclear Physics. Philosophical Library, N. Y. , 1954.
- 24) Halliday, D. , Introductory Nuclear Physics, 2nd Edition. Willey and
Sons, Inc . , 1955.
- 25) Kaplan, I. , Nuclear Physics. Addison-Wesley Publishing Co. , 1955.
- 26) Price, B. T. , Horton, C. C. , and Spinney K. T. Radiation Shielding,
Pergamon Press, 1957.
- 27) Blatt, J. M. , and Weisskopf, V. F. , Theoretical Nuclear Physics.
Wiley and Sons Inc. , 1952.
- 28) Segre, E. , Experimental Nuclear Physics. Vol. I, 1953. Vol II, 1953.
Vol. III, 1960. Wiley and Sons, Inc.
- 29) Mayer, M. G. , and Jensen, J. H. D. , Elementary Theory
of Nuclear Shell Structure. Wiley and Sons, Inc. , 1955.
- 30) Calvin, M. , Heidelberger, C. , Reid, J. C. , Tolbert, B. M. , and
Yankwich, P. F. , Isotopic Carbon , Wiley and Sons, Inc. , 1949.

- 31) Fields, T. , Seed, L. , "Clinical Use of Radioisotopes", 455, p. ,
The Year Book Publisher, Chicago, (1957).
- 32) Comar, C.L. , Radioisotopes in Biology and Agriculture. McGraw-Hill, (1955)
- 33) Siegbahn, K. , Beta - and Gamma-Ray Spectroscopy Interscience Publishers, Inc. , (1955)
- 34) Birks, J. B. , Scintillation Counters. McGraw-Hill, 1953.
- 35) Curran, S. C. , Luminescence and the Scintillation Counter Academic Press (1953).
- 36) MDDC-763. An Introduction to Nuclear Chemistry Lecture Series by Glenn T. Seaborg. (Available from Office of Technical Services, -- Department of Commerce, Washington 25, D. C.
- 37) G. E. Chart Revised April, 1956. Available upon request to Department 6-235A, General Electric Company, Schenectaday 5, New York.
- 38) Sullivan, W. H. , Trilinear Chart of Nuclides U. S. Government Printing Office, Washington 25, D. C. Jan. 1957.
- 39) Hollander, J. M. , Perlman, I. , and Seaborg, G. T. , Table of Isotopes. Rev. Mod. Phys. , April 1953.
- 40) Nuclear Data. Compiled by the National Bureau of Standards Nuclear Data Group. Washington, D. C. : U. S. Government Printing Office, 1950

- 41) Way, K., King, R.W. McGinnis, C.L., van Lieshout, R., Nuclear Level Schemes. $Z = 20$ to $Z = 40$; (Ca-Zr). TID-5300. Government Printing Office, June 1955.
- 42) Hughes, D.J. and Harvey, J.A., Neutron Cross Sections McGraw-Hill Book Co.,
- 43) Nuclear Science Abstracts Available from; Document Sales Agency, P.O. Box 62, Oak Ridge, Tennessee.
- 44) Nucleonics, McGraw-Hill, 330 West 42nd St., New York 36, N.Y.
- 45) "International Journal of Applied Radiation and Isotopes" Pergamon Press, New York, 22, N.Y.,
- 46) "Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry," Pergamon Press, 122 East 55th Street, New York 22, N.Y.
- 47) "Nuclear Instruments", Interscience, 250 Fifth Avenue, New York.
- 48) "Nuclear Physics", Interscience, 250 Fifth Avenue, New York.
- 49) The Physical Review, American Institute of Physics, 335 East 45th St., New York 17, N.Y.
- 50) Review of Modern Physics, American Institute of Physics, 335 East 45th St., New York 17, N.Y.



