

2. LA RADIATIVIDAD

Muchas de las ideas y técnicas de la exploración de los minerales radiactivos se fundan en sus propiedades y en sus radiaciones, resulta entonces esencial para nuestros propósitos el estudio de ciertos aspectos de la radiactividad.

2.1 LAS RADIACIONES

Las sustancias radiactivas emiten tres clases diferentes de radiación:

Rayos Alfa: Partículas cargadas positivamente, que pueden ser desviadas por un campo eléctrico o magnético, a las que se puede determinar su velocidad y carga específica y que son equivalentes a núcleos de helio cargados positivamente.

Rayos Beta: Partículas con carga negativa, se desvían igualmente por la acción de campos eléctricos y magnéticos. Se ha establecido que consisten en electrones en movimiento que difieren tan solo en velocidad. Los rayos beta del radio tienen una velocidad cercana a la de la luz.

Por que los campos electricos o magneticos no afectan a los rayos Gamma?

Los Rayos X

Rayos Gamma: Rayos eléctricamente neutros ya que no resultan afectados por los campos eléctricos o magnéticos. Consisten en onda electromagnéticas análogas en su naturaleza a la luz y a los rayos X.

Se ha demostrado que las sustancias radiactivas no emiten simultáneamente las tres clases de radiaciones; algunos elementos emiten rayos alfa y otros emiten rayos beta, viniendo algunas veces acompañados de rayos gamma.

Los rayos beta son mucho más penetrantes que los alfa, pudiendo atravesar 1 mm. de aluminio, mientras que los rayos alfa resultan frenados por 0.006 cm. de este metal. Los rayos gamma, por su parte, son de 10 a 100 veces más penetrantes que los beta, sin embargo la ionización producida en un gas es mucho menos intensa a medida que aumenta la penetrabilidad. La ionización producida por los rayos alfa, beta y gamma es del orden de 1000, 100 y 1 respectivamente.

El estudio químico detallado de las sustancias radiactivas ha demostrado que cada una de ellas están constituida por un elemento y que su radiactividad se debe a una desintegración espontánea de los átomos, los que generan, a su vez, otros átomos según leyes definidas.

El Uranio se desintegra espontáneamente a una rata constante que no se afecta por la naturaleza, la presión o la naturaleza del medio ambiente que lo rodea.

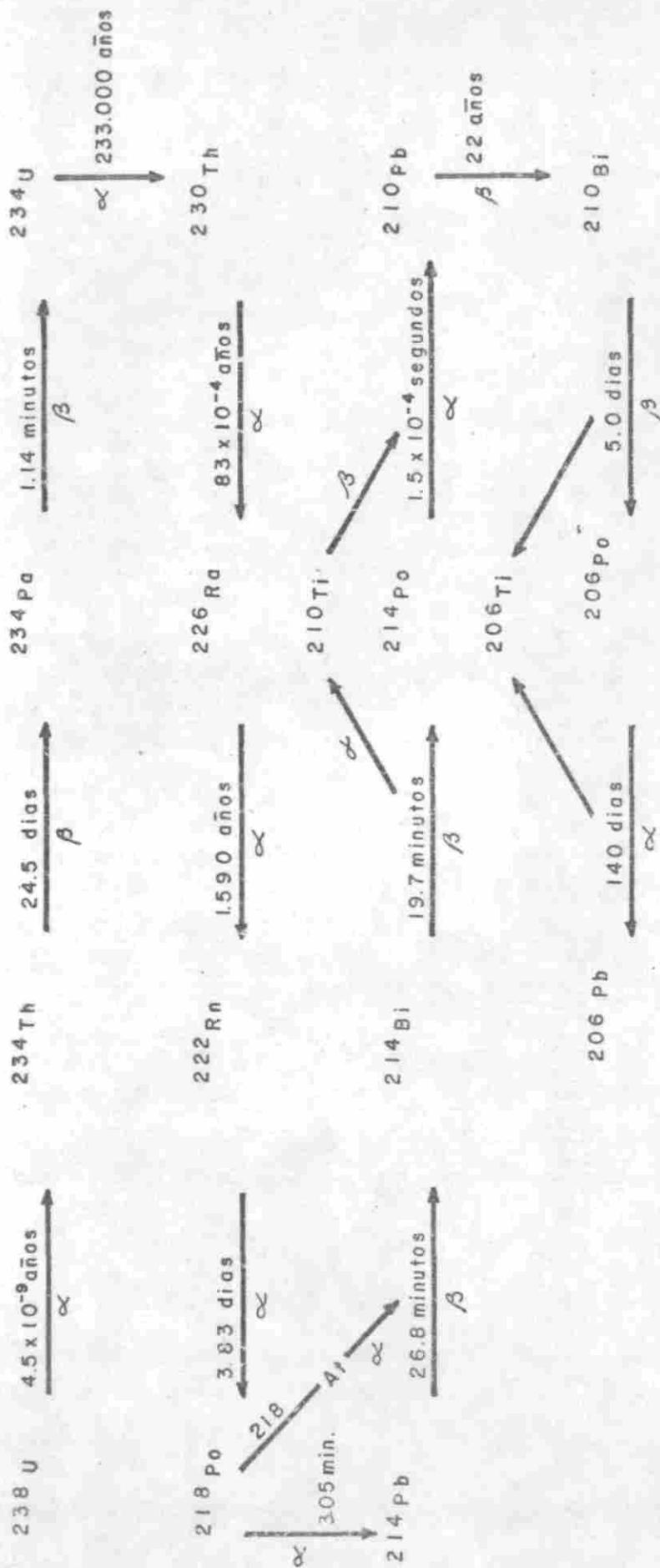
Se descompone en nuevos elementos de menor peso atómico. Los elementos nuevamente originados son más intensamente radiactivos que los elementos de que proceden. La mayoría de las investigaciones se han efectuado en el radio, producto de descomposición del Uranio, que por su semejanza química con el Bario, se deja aislar con relativa facilidad.

Cuanto más corta es la vida, mayor es la cantidad de radiación.

Se conocen tres series de descomposición radiactiva:

- La del Uranio
- La del Torio
- La del Protactinio

Además, el Samario emite radiación alfa débil, un isótopo del potasio, radiación beta y existen algunos otros casos.



cuanto más corta es la vida, mayor es la cantidad de radiación

Cuadro 2.1- Serie de descomposición radio-activa del Uranio 238

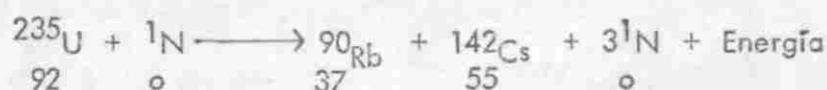
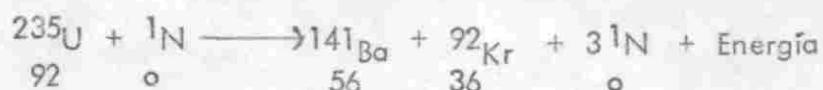
- Importancia

La emisión de las partículas alfa, beta y de los rayos gamma por ciertos átomos condujo al conocimiento de que estaban constituidos por unidades menores y por tanto llevó al concepto de estructura atómica. La dispersión de las partículas alfa por los átomos hizo nacer el concepto nuclear del átomo. El análisis de las relaciones químicas entre los distintos elementos radiactivos dió como resultado el descubrimiento de los isótopos. El bombardeo de los átomos con partículas alfa rápidas procedentes de sustancias radiactivas provoca la desintegración de los núcleos atómicos, lo que permitió el descubrimiento del neutrón y la elaboración de la teoría de la composición del núcleo.

Los átomos producidos mediante el bombardeo de partículas alfa son frecuentemente radiactivos, llegando así a la radiactividad artificial con la que se han producido centenares de núclidos radiactivos por métodos diversos. El estudio de las radiaciones procedentes de los radionúclidos naturales y artificiales ha demostrado que el núcleo posee diversos niveles de energía análogos a los atómicos.

El principal descubrimiento para fines energéticos, lógicamente fue la gran liberación de energía nuclear que se presenta por fisión y por reacciones termonucleares.

Cuando el isótopo ^{235}U absorbe neutrones ocurre los siguientes tipos de reacción:



La importancia de la radiactividad depende en gran parte de la posibilidad de medir con gran precisión sus variaciones y describirlas cuantitativamente mediante una teoría de aplicación directa (1).

2.2 TEORÍA DE DESINTEGRACIÓN RADIATIVA

Se trata inicialmente de cuantificar el crecimiento y la disminución de la radiactividad, para ello y a partir de varios experimentos se estableció por ejemplo que la mayor parte de la actividad de los com-

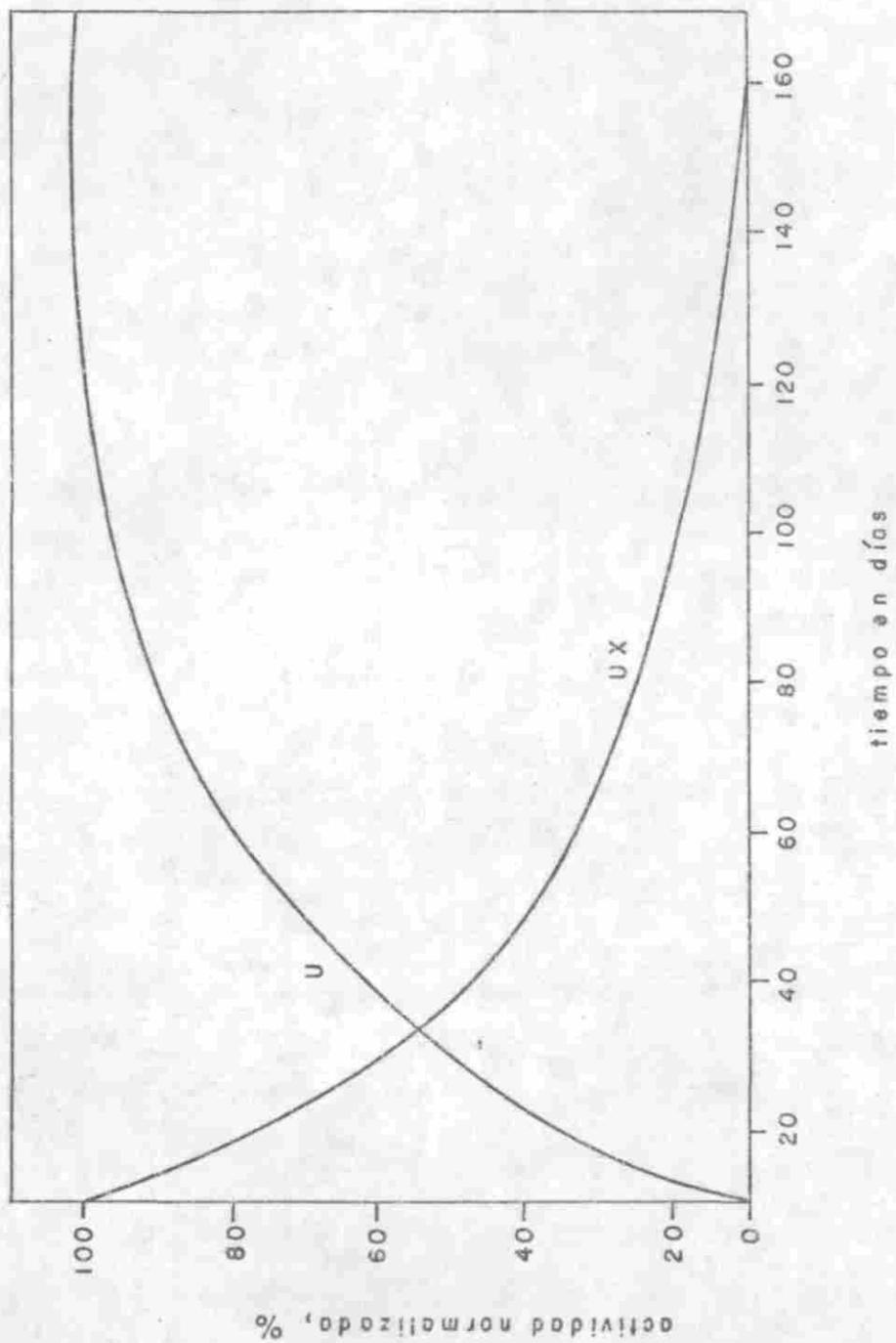
puestos de Uranio no se debe a este elemento, sino a otra sustancia que puede separarse de él y a la que se dió el nombre de Uranio X, (UX), para distinguirla del Uranio corriente (2).

Becquerel descubrió que manteniendo separadas durante cierto tiempo las fracciones constituídas por Uranio y UX, la actividad de este disminuía, en tanto que la del primero aumentaba. Lo que se visualiza en el cuadro (2.2).

Disminución de la actividad del Uranio X, y crecimiento de la del Uranio.

Rutherford y Soddy obtuvieron resultados análogos con las sales de Torio y formularon una teoría de transformación radiactiva; sugirieron que los átomos de los elementos radiactivos sufren una desintegración espontánea con emisión de partículas alfa o beta y formación de átomos de un nuevo elemento; la intensidad de la actividad, es proporcional al número de átomos que se desintegran por unidad de tiempo, por lo que la actividad A, medida por uno de los métodos utilizados para ello y que está dada por la ecuación:

$$A_x(t) = A_{x_0} e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$



Cuadro 2.2-Disminución de la actividad del Uranio X, crecimiento del Uranio

puede sustituirse por el número de átomos N , con lo que la ecuación se transforma en

$$N_x(t) = N_{x0} e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

El subíndice x , se utiliza para distinguir entre el cuerpo x y su predecesor, si se elimina la ecuación queda simplificada:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

es decir la ecuación que representa la variación con el tiempo del número de átomos de una sustancia radiactiva que se desintegra. Derivando resulta:

$$- \frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (2.4)$$

según esta ecuación anterior, el número de átomos de un elemento radiactivo que se desintegra por unidad de tiempo es proporcional al número de los que todavía no se han desintegrado, siendo el factor de proporcionalidad la constante de desintegración, característica de cada especie radiactiva. Esta ecuación entonces expresa la ley fundamental de la desintegración radiactiva (2, 3, 8).

Con esta ley y con las siguientes hipótesis se ha podido explicar el crecimiento de la actividad de muestras de Torio o Uranio, por ejemplo, de las que se había eliminado el ThX o el UX:

Hipótesis 1. La producción de una nueva sustancia radiactiva, p. ej. UX por parte del elemento radiactivo predecesor, Uranio, es constante.

Hipótesis 2. La nueva sustancia UX, se desintegra también según la ley expresada en la ecuación (2.4).

Supongamos que de una cierta masa de Uranio se producen por segundo Q átomos de UX y sea N el número de estos presente al cabo del tiempo t después de la eliminación total de la cantidad inicial de UX; la velocidad neta del crecimiento del número de átomos de UX en el Uranio es:

$$\frac{dN}{dt} = Q - \lambda N \quad (2.5)$$

El primer término del segundo miembro de esta ecuación (Q), da la velocidad de formación de átomos de UX a partir de los de U, y el segundo (λN) la velocidad con que desaparecen por desintegración radiactiva.

Después de multiplicar ambos miembros de la ecuación (2.5) por $e^{\lambda t}$ e integrándola directamente se obtiene:

$$N e^{\lambda t} = \frac{Q}{\lambda} e^{\lambda t} + C$$

$$N = \frac{Q}{\lambda} + C e^{-\lambda t} \quad (2.6)$$

donde C es una constante de integración cuyo valor queda determinado por la condición $N = 0$ cuando $t = 0$, resultando $C = -\frac{Q}{\lambda}$ y

$$N = \frac{Q}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (2.7)$$

La ecuación (2.7) coincide con la de recuperación (2.3); por tanto la teoría es correcta para el crecimiento de la actividad en el Uranio o el Torio después de la eliminación del cuerpo X.

La ecuación (2.7) demuestra también que el número de átomos de UX en la masa de Uranio tiende a un valor constante, o de equilibrio, para grandes valores de t, dado por la relación:

$$\frac{Q}{\lambda} = \frac{\text{Número de átomos de UX producidos en el U por segundo}}{\text{fracción de átomos de UX que desaparecen por segundo}}$$

2.3 DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DETECCION

E. Von Schweidler (1905) dedujo la ley de decrecimiento exponencial sin hacer ninguna hipótesis especial sobre la estructura de los átomos radiactivos o acerca del mecanismo de desintegración, partió solamente de la suposición de que la desintegración de un elemento radiactivo está sujeta a las leyes del azar, y que la probabilidad p de que un átomo se desintegre en un intervalo de tiempo Δt es independiente de su historia anterior y es la misma para todos los átomos existentes en un tiempo dado. Depende solo de la duración del intervalo de tiempo, de tal modo que para los valores de este suficientemente pequeños es proporcional a Δt ; por tanto, $p = \lambda \Delta t$, donde λ es la constante de desintegración característica de la sustancia radiactiva.

La probabilidad de que el mismo átomo no se desintegre durante dicho breve intervalo de tiempo Δt es igual a $1 - p = 1 - \lambda \Delta t$. Si el átomo ha sobrevivido después de este intervalo, la probabilidad de que no se desintegre en un segundo intervalo de tiempo Δt es nuevamente $1 - \lambda \Delta t$. La probabilidad de que este átomo sobreviva de los dos intervalos valdrá $(1 - \lambda \Delta t)^2$ y la de sobrevivir durante n de tales intervalos es $(1 - \lambda \Delta t)^n$, si el tiempo total $n \Delta t$ se iguala a t , la probabilidad de supervivencia puede expresarse por:

$$\left(1 - \lambda \frac{t}{n}\right)^n \quad (2.8)$$

La probabilidad de que el átomo no sufra modificación alguna después del tiempo t es igual al límite de la cantidad anterior cuando Δt es infinitamente pequeño o, n infinitamente grande, ahora bien por la definición de la función exponencial:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \lambda \frac{t}{n}\right)^n = e^{-\lambda t} \quad (2.9)$$

La ecuación (2.9) se interpreta estadísticamente como que si hay un gran número de átomos radiactivos N_0 , la fracción que queda inalterada al cabo de un tiempo t es $N/N_0 = e^{-\lambda t}$ donde N es el número de átomos inalterados después del tiempo t .

La ley de desintegración radiactiva es de naturaleza estadística y se aplica a un gran número de sucesos sometidos a las leyes de la probabilidad; el número de átomos desintegrados en un segundo es, en promedio, λN , pero el número de ellos que se transforma en un segundo cualquiera fluctúa alrededor de λN y la magnitud de dichas fluctuaciones se conoce con la ayuda del cálculo de probabilidades.

Las consideraciones estadísticas que incluye el cálculo anterior tiene

importancia al interpretar y planear los experimentos relacionados con la medida de la radiactividad.

El número de átomos radiactivos N y la actividad A se han utilizado intercambiándolos libremente, ya que la última es proporcional a los primeros. Para una sustancia radiactiva dada, ambas magnitudes se relacionan así:

$$A = C \lambda N \quad (2.10)$$

El factor de proporcionalidad C , es el que se denomina Coeficiente de detección, depende de la naturaleza y eficacia del instrumento detector y puede variar mucho de unas sustancias radiactivas a otras.

2.4 UTILIZACIÓN Y MEDIDA DE RADIACIONES

Los métodos se basan en los efectos producidos por la emisión de rayos alfa, beta o gamma, por los minerales radiactivos al ser detenidos y amplificados (3).

2.4.1 Método Fotográfico

Las radiaciones afectan una placa o película fotográfica que no haya sido expuesta. Este método de detección no es exclusivo para el Uranio ya que se detectan igualmente las radiaciones producidas por el Thorio y el Radio. Se utiliza para análisis de muestras.

2.4.2 Método Electroscópico

Se basa en la propiedad que tiene las radiaciones de ionizar los gases, es decir de hacerlos conductores de la electricidad.

Se toma un electroscopio de hojas de oro o de aluminio y se carga. Las hojas se separarán al cargar el electroscopio. Al acercar una muestra radiactiva, el aire alrededor del electroscopio se ioniza y el electroscopio se descarga. La velocidad con que se juntan las hojas dará una idea de la intensidad de la radiactividad.

2.4.3 Método de Centelleo

Se basa en la excitación producida por las radiaciones en una pantalla fluorescente de sulfuro de zinc.

El instrumento que se usa es un Espintaroscopio (tubo de unos 2.5 a 3 centímetros de diámetro y unos 20 cm. de largo con una lente en su parte superior. En el fondo de la parte interior se coloca una pantalla fluorescente de sulfuro de zinc y hacia el tercio de la altura se deja una pequeña abertura para introducir la muestra que se fija en un alambre).

Al introducir una muestra radiactiva y mirando por la lente se observa una especie de centelleo o chispas que se desprenden del mineral.

2.4.4 Fluorescencia

Un gran número de minerales secundarios de Uranio presentan fluorescencia cuando se colocan bajo la luz ultravioleta. El color de la fluorescencia es un verde o amarillo brillante o una combinación de estos colores, muy característico.

2.4.5 Radiactividad con Detector Geiger - Mueller

El instrumento más conocido para detectar la radiactividad de los minerales que la poseen es el detector de Geiger - Mueller. Estos instrumentos van desde los utilizados en el laboratorio y los más sofisticados de gran alcance y registros complejos como los utilizados en prospecciones, consisten básicamente en un tubo de Geiger, un sistema de amplificación y un sistema registrador que puede ser un contador mecánico, una lámpara de Neón que destella cuando se registra una radiación, o sistemas auriculares que registran las radiaciones en forma de pulsaciones o una combinación de los anteriores (4).

El tubo de Geiger consiste en un filamento (ánodo) rodeado de una placa metálica (cátodo) conectada a un circuito de alto voltaje, todo encerrado dentro de una bombilla de cristal y conectado a los sistemas de amplificación y registro. La bombilla está llena de un gas ionizable, a poca presión mezclado con un poco de materia orgánica. Cada vez que una radiación entra a la cámara el gas se ioniza.

Los aparatos son de diferente sensibilidad y se debe tener en cuenta un registro de fondo debido a un número de pulsaciones variable que provienen de los rayos cósmicos y a las ínfimas cantidades de radio y Thorio que existe en las rocas.

Debido a que la radiactividad se puede presentar en cantidades extremadamente pequeñas, su uso en los métodos de prospección es limitado, a causa de las coberturas rocosas, para menas situadas a profundidad. La localización de estas depende de la emigración de elementos radiactivos desde un punto de origen, ya por transporte en soluciones durante la formación del depósito o posteriormente por difusión del radón, único elemento gaseoso de las series radiactivas. Tales procesos dan como resultado una aureola o una localización de la radiactividad a lo largo de fallas o fisuras y se proporciona así una profundidad de penetración algo mayor a los métodos radiactivos de prospección.

Aparte del uso en la búsqueda de menas de uranio, se han empleado métodos radiactivos en la correlación de formaciones y para decifrar estructuras geológicas.

Las rocas son radiactivas en un grado medible y existe suficiente variación entre unas formaciones y otras para permitir la correlación de ciertas capas.