

PRINCIPIO DE LA PRODUCCIÓN DE RAYOS X

Dolores Tenorio
ININ



Emisión de rayos x

La interacción de la radiación electromagnética o corpuscular con la materia, así como ciertos fenómenos nucleares, puede dar lugar a la formación de lagunas electrónicas.

Esos procesos se acompañan de una liberación de energía, bajo dos formas: Mediante la emisión de rayos X o la emisión de electrones Auger.

Por ejemplo, la formación de una vacancia en la capa K de un átomo de puede ser llenada por un electrón de la Subcapa LII. La diferencia de energía entre los dos niveles puede aparecer como un fotón X de energía $E_x = h\nu_x = E_k - E_{LII}$. Esta línea es característica del argón (Ka2).

FORMAS DE EXCITACIÓN

Bombardeo con Electrones

El bombardeo de un blanco con electrones de energía suficientemente grande puede dar lugar a la ionización de ciertos átomos, y por consecuencia a la emisión de rayos X característicos. Al mismo tiempo, la deflexión o frenado de los electrones da lugar a la aparición de una radiación de frenado. Esa radiación constituye un fondo continuo donde la energía máxima es igual a la energía inicial de los electrones incidentes. Esta radiación puede enmascarar los elementos presentes en pequeñas concentraciones.

La principal aplicación de este tipo de excitación es la microsonda electrónica; este método consiste en usar un haz de electrones para determinar la composición elemental.

Excitación con Fotones

La ionización de un átomo por una radiación electromagnética de cierta energía, se produce por efecto fotoeléctrico o compton.

Las fuentes de protones son tubos de rayos X o fuentes radiactivas. Un ejemplo de tales fuentes son: ^{55}Fe , ^{238}Pu , ^{109}Cd , ^{241}Am .

Excitación con Partículas Cargadas

El frenado de iones de energías elevadas en la materia se lleva a cabo por colisiones electrónicas. Los electrones son eyectados y las vacancias producidas dan lugar a la emisión de rayos X. En 1912, se llevaron a cabo las primeras observaciones de emisión de rayos X característicos de diversos elementos, excitados con partículas alfa. Los primeros ensayos con partículas aceleradas se hicieron en 1930. Los iones utilizados fueron protones de bajas energías (algunas centenas de KeV).

La primera interpretación teórica de este fenómeno fue hecha por Gerthsen quien propuso que en el caso de protones se producía un choque elástico entre la partícula incidente y un electrón de las capas externas del átomo; en la actualidad se ha demostrado que la ionización es el resultado de la interacción coulombiana entre la partícula incidente y un electrón ligado.

Para los iones más pesados, la ionización resulta de la interacción de las capas electrónicas en el momento de la colisión.

ANÁLISIS DE ELEMENTOS TRAZA POR EMISIÓN DE RAYOS X INDUCIDOS POR PARTÍCULAS

La sensibilidad de este método es del orden de 10-12g. Pero el interés de este método de análisis no es debido a su sensibilidad sino a la posibilidad de un análisis simultáneo de un gran número de elementos presentes en la muestra.

Parte experimental

Dispositivo Experimental

Las partículas son producidas por un acelerador. El haz de partículas es desviado por un imán y después focalizado por un cuádrupolo. Los diafragmas permiten obtener una trayectoria rectilínea del haz.

Las muestras pueden colocarse en una cámara al vacío para su análisis, o bien el haz puede pasar a través de una ventana de mylar y el objeto problema se analizaría al aire.

Cámara de vacío

La cámara de vacío consiste de un porta muestras, en el que se colocan las muestras a analizar, y se posicionan perpendicularmente al haz. La detección de los rayos X se hace a 135° con respecto al haz, con un detector de Si(Li); delante de este detector se pueden colocar absorbedores que permiten regular la razón de

conteo. Un detector de barrera superficial puede colocarse simétricamente al detector de rayos X con respecto al haz, para detectar las partículas retrodispersadas. La corriente se puede medir con una caja de Faraday o, en algunos casos, en la misma muestra.

Detector y Electrónica

El detector de rayos X está formado con silicio y litio de la zona activa mide 12 mm^2 . Este debe ser enfriado por un dedo de cobre sumergido en un recipiente de aire líquido.

Un parámetro importante es la resolución, que se define como el ancho medido a la altura media del pico de Fe (K α). La señal recibida por el detector es enviada a un preamplificador, y después a un amplificador.

La señal de salida del amplificador es proporcional a la energía de los fotones detectados. Ese conjunto de señales son enviadas a un multicanal, y se les llama espectros. Esos espectros son posteriormente registrados en un disquete para su posterior análisis.

Medida de la corriente

Para el análisis cuantitativo de las muestras es necesario conocer el número de proyectiles que interactúan con ella. La determinación del número de iones incidentes, consiste en medir la carga total recibida por la muestra durante la experiencia. Esta medida se efectúa según la naturaleza de la muestra.

- a) En el caso que se trate de una muestra delgada el haz de partículas atraviesa la muestra, y en tal eventualidad se mide la corriente con la caja de Faraday.
- b) Si la muestra es gruesa, y además conductora de corriente, esta se mide en la misma muestra. En el caso de que la muestra no sea conductora, se puede hacer una medición antes y después de la irradiación con la caja de Faraday.

Tiempo muerto

Durante el tratamiento de una señal por el amplificador, la cadena electrónica no acepta una señal, que provenga del detector. Durante ese tiempo, llamado "tiempo muerto", la integración de la corriente continúa funcionando y da como resultado una relación falsa entre el número de rayos X detectados y la carga recibida por la muestra. Para evitar este error hay dispositivos experimentales que bloquean el integrador de corriente.

Análisis de espectros

Un espectro obtenido al bombardear una obsidiana con protones a diferentes energías muestra un gran número de picos correspondientes a diferentes elementos presentes en la muestra.

La identificación de esos picos es posible haciendo una calibración de energía, usando, por ejemplo, una fuente radiactiva (^{241}Am).

El análisis cuantitativo implica el conocimiento del número de fotones emitidos por los diferentes elementos de la muestra. El análisis de espectros consiste en integrar el área de cada pico después de haber restado el ruido de fondo.

Medidas absolutas

El número de fotones C producidos por un elemento presente en la muestra bombardeada por un haz de partículas es proporcional a:

- el número de átomos de ese elemento
- el número de iones incidentes
- la sección eficaz de producción de rayos X en el momento de la colisión

La ecuación que nos da la relación entre el número de rayos X y la cantidad total de un elemento presente en la muestra, está en función de la pérdida de energía del proyectil en la muestra. La sección eficaz de producción de rayos X a su vez, depende de la energía del proyectil y de la penetración de ese en la muestra.

Cuando los fotones se forman a una cierta profundidad en la muestra, se pueden absorber, por lo que hay que contemplar este fenómeno.

El número de rayos X detectados que provienen de átomos i presentes en una capa de espesor dx situada a una profundidad X , está dada por la fórmula:

$$dN_i = \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{e} n_i dx \sigma_i(x) \exp(-\mu_i X / \cos\theta)$$

Q/e es el número de proyectiles que llegan a la muestra

μ_i es el coeficiente de absorción de la muestra de los rayos X, producidos

$\sigma_i(x)$ es la sección eficaz de producción de rayos X a la penetración X

n_i es la densidad de la muestra del elemento i expresado en átomos por unidades de volumen

Una obsidiana bombardeada a 1.5 MeV para determinar los elementos de número atómico menor que el Fe, y el otro espectro corresponde al análisis de elementos mayores que el Fe y se obtuvo bombardeando la muestra de obsidiana a 3 MeV.

Análisis de muestras con iones pesados

La perspectiva del análisis elemental usando iones pesados es interesante debido a que las secciones eficaces de ionización son elevadas, además de poder llevar a cabo una ionización, lo que resulta interesante cuando se trata de analizar un elemento en particular.

Un ejemplo que podemos dar al respecto es el análisis de cerámicas del Templo Mayor, corresponde al bombardeo de una cerámica con protones de 3 MeV, donde hay una gran gama de elementos que se detecta en el engobe. Si la misma muestra se bombardea con iones de bromo de energía de 85 MeV, los elementos detectados en la arcilla son solamente el Fe, Cu y Pb, mientras que en el caso del engobe se detectan Fe, Cu, Zn y As, se utilizó un proyectil de bromo en los dos casos. En el caso de que se usaran iones Kriptón de 5,2 MeV para bombardear la cerámica, los elementos que se detectan en este caso se excita solamente el As y el Fe.

Si por otra parte, calculamos la penetración de los iones usados en esta experiencia, tenemos: para protones de 1 MeV y 2 MeV la penetración es de $10\ \mu\text{m}$ y $7\ \mu\text{m}$, para el caso de los iones bromo de energías de 85 MeV, 40 MeV y 5 MeV la penetración calculada fue de $10\ \mu\text{m}$, $7\ \mu\text{m}$ y $2\ \mu\text{m}$, los iones Kr de energías de 5.2 MeV seguramente no, atraviesan el engobe, y podemos concluir que esta capa de cerámica esta formada principalmente con Fe y As.

[REGRESAR AL INDICE](#)