



Práctica de Laboratorio

Estudio de la resonancia $^{16}\text{O}(\alpha,\alpha)^{16}\text{O}$ a 3.037 MeV en blancos de Ta_2O_5

Objetivos

A través de la presente práctica se pretende familiarizar al alumno con el uso de haces de iones de energías del orden de MeV, la instrumentación necesaria y el método de trabajo en un experimento de física nuclear.

Introducción

La dispersión de partículas por un blanco sólido puede utilizarse para extraer información acerca de él. El número y la energía de las partículas retrodispersadas por los átomos de una muestra depende de los elementos presentes en ella, su concentración y distribución. Cuando la dispersión se debe únicamente a las repulsión coulombiana entre las partículas incidentes y los núcleos del blanco, dicha técnica recibe el nombre de espectrometría Rutherford o RBS (Rutherford backscattering spectrometry, en inglés). Este método de análisis es extremadamente útil para la caracterización de materiales pues permite obtener perfiles de concentración en profundidad sin necesidad de patrones.

A energías suficientemente elevadas, además de la mencionada repulsión coulombiana, entran en acción otros fenómenos nucleares dando lugar a secciones eficaces diferentes de la Rutherford, que pueden ser utilizadas para extraer información selectiva de la muestra aumentando la sensibilidad de la técnica. A este método se le conoce como espectrometría No-Rutherford (non-RBS) o simplemente espectrometría elástica (EBS).

En ciertas ocasiones, la energía del haz incidente es suficientemente alta para producir reacciones nucleares entre los iones incidentes y los átomos de la muestra. El análisis de los productos de estas reacciones (Nuclear Reaction Analysis, NRA, en inglés) resulta de utilidad para obtener información que generalmente no se podría obtener mediante el RBS.

En la presente práctica se van a realizar experimentos bombardeando de tipo Rutherford y no-Rutherford en una lámina delgada de Ta_2O_5 (crecida sobre un sustrato de Si). Se usarán dos detectores de partículas, uno a un ángulo de dispersión de 170° y otro a 165° . Inicialmente se irradiará la muestra con iones de He a 2 MeV (Rutherford). Posteriormente se barrerá el rango de energías entre 2.9 y 3.2 MeV (interacciones no-Rutherford para el ^{16}O).



A continuación se describen, de manera esquemática, las reacciones básicas (nucleares o no) que se producen cuando se irradia una muestra de Ta_2O_5 con un haz de He a una energía comprendida en el intervalo $2.9 \text{ MeV} < E < 3.2 \text{ MeV}$.

$^{16}Ta(\alpha, \alpha)^{16}Ta$	Interacción coulombiana elástica (Rutherford)
$^{16}O(\alpha, \alpha)^{16}O$ $Q=0$	Interacción nuclear elástica (indistinguible de la coulombiana pero con una sección eficaz varias veces mayor)
$^{28}Si(\alpha, \alpha)^{28}Si$	Interacción coulombiana elástica (Rutherford)

Desarrollo

1. Identificar en la base de datos IBANDL [1] la sección eficaz no-Rutherford de la reacción $^{16}O(\alpha, \alpha)^{16}O$ en el rango de energías para 170° y a 165° . Comparar en una gráfica la sección eficaz evaluada por el programa SigmaCalc [2].

Se irradiará con un haz de He a distintas energías una muestra delgada de Ta_2O_5 de unos 200 nm de espesor crecida sobre Si. Se detectarán las partículas retrodispersadas simultáneamente en dos detectores a 170° (fijo) y a 165° (móvil).

En el fichero E2000F.txt se muestran los datos de un espectro de RBS de la muestra analizada a 2 MeV, adquirido con el detector fijo a 170° . En el fichero E2000M.txt se muestran los datos equivalentes para el detector móvil a 165° .

2. Calibrar los **dos detectores** usando las energías en superficie del Ta y el O. Para ello usar los factores cinemáticos del apéndice I, hacer una representación de la energía frente al canal y ajustar linealmente para obtener la pendiente y la ordenada en el origen. ¿Qué valores de calibración se obtienen? ¿Está el Si en superficie? ¿Por qué?
3. Verificar la estequiometría de la muestra a partir de la relación de átomos de He retrodispersados por el Ta y el O. Usar para ello **únicamente** el detector móvil (con mayor estadística). Conocida la sección eficaz a dicha energía y ángulo (apéndice 2), es preciso integrar la señal del Ta y del O (restando el fondo del Si en este último caso) y obtener el rendimiento de cada elemento (Y_{Ta}, Y_O). Si asumimos que la muestra tiene una estequiometría Ta_xO_y , entonces:

$$\frac{y}{x} = \frac{N_O}{N_{Ta}} = \frac{Y_O \cdot \sigma_{Ta}}{Y_{Ta} \cdot \sigma_O}$$

¿Cuadra el valor obtenido con el nominal de 5/2? Dar el valor y su error.



En los ficheros E2900F.txt, E3000F.txt, E3020F.txt ..., E3200F.txt se muestran los espectros de la muestra tras bombardear con iones de He distintas energías (entre 2900 keV y hasta 3200 keV). El nombre del fichero corresponde con la energía del haz incidente en keV. En la primera columna de cada fichero se haya el número de canal; en la segunda columna el número de iones detectados por el detector de partículas.

4. Usando los espectros del detector fijo, dibujar la curva de excitación del Ta, el O, y el Si.

Para ello se debe seleccionar una ventana **próxima a la superficie** para cada elemento (unos 40 canales deberían bastar). Advertencia: al cambiar la energía el borde de la superficie también se desplaza hacia energías más altas, por lo que habrá que tener cuidado para mover la ventana de integración cuando sea preciso. Analizar los espectros a las distintas energías integrando el área bajo los elementos (ventanas) seleccionados y representar dichas áreas como función de la energía del haz.

Es recomendable hacer una tabla del tipo:

Energía (keV)	Área de Ta	Área de O+Si	Área de Si	Área de O
2900	14547	7809	6641	1168
3000	14280	8047	6486	1561
...
3200	13800	6213	6906	693

Puesto que el O solapa con el fondo de Si, es preciso eliminar la contribución del Si restándola del área obtenida bajo el O. Eso puede hacerse con una ventana equivalente a la del O para la parte del espectro donde sólo hay Si.

5. Ajustando el pico de O a una función lorentziana (esto no es matemáticamente correcto en nuestro caso pero servirá), determinar el centro y la anchura a media altura de la resonancia con su correspondiente error.
6. ¿Por qué el Ta no sigue el comportamiento del O pero sí el del Si? ¿Es normal que la señal del Ta (o Si) disminuya con la energía? ¿Por qué?



Bibliografía

- Y. Wang, M. Nastasi, *Handbook of modern ion beam material analysis*, MRS (2009).
J.R. Bird, J.S. Williams, *Ion beams for material analysis*, Academic Press (1989)
K.S. Krane, *Introductory nuclear Physics*, John Wiley & Sons (1988)
W. Chu, J.W. Mayer, M.A. Nicolet, *Backscattering spectrometry*, Academic Press (1978)
J.R. Cameron, *Elastic scattering of alpha particles by O*, Phys. Rev. 90, 839 (1953)

Referencias

- [1] Base de datos de secciones eficaces: <https://www-nds.iaea.org/exfor/iband1.htm>
[2] Evaluador de secciones eficaces SigmaCalc: <http://sigmacalc.iate.obninsk.ru/>
[3] Programa de simulación SimNRA: <http://home.rzg.mpg.de/~mam/>
[4] Programa Monte Carlo SRIM: <http://www.srim.org/>

Envío de informes

Silvia Viñals: silvia.vinnals@uam.es
José Antonio Briz: jose.briz@csic.es

Apéndice I: Factores cinemáticos relevantes

A 170°:	K(Ta)=0.91593	K(O)=0.36248	K(Si)=0.56573
A 165°:	K(Ta)= 0.91669	K(O)=0.36593	K(Si)=0.56879

Apéndice II: Secciones eficaces Rutherford para He a 2 MeV

A 170°:	$\sigma(\text{Ta})=6895.7$ mb/sr	$\sigma(\text{O})=74.06$ mb/sr	$\sigma(\text{Si})=247.17$ mb/sr
A 165°:	$\sigma(\text{Ta})=7028.9$ mb/sr	$\sigma(\text{O})=75.67$ mb/sr	$\sigma(\text{Si})=252.13$ mb/sr