

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 582 052**

21 Número de solicitud: 201630711

51 Int. Cl.:

C23C 14/35 (2006.01)

H01J 37/34 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

31.05.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

04.01.2018

Fecha de concesión:

10.10.2018

45 Fecha de publicación de la concesión:

18.10.2018

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2017/070369

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (50.0%)
C/ Serrano, nº 117
28006 Madrid (Madrid) ES y
UNIVERSIDAD DE SEVILLA (50.0%)**

72 Inventor/es:

**FORTIO GODINHO, Vanda Cristina;
CABALLERO-HERNANDEZ, Jaime;
FERNANDEZ CAMACHO, Asunción;
FERRER FERNANDEZ, Francisco Javier;
GOMEZ CAMACHO, Joaquin y
FERNANDEZ MARTÍNEZ, Begoña**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **BLANCO SÓLIDO DE GASES NOBLES PARA REACCIONES NUCLEARES**

57 Resumen:

Blanco sólido de gases nobles para reacciones nucleares.

Constituye un objeto de la presente invención un blanco sólido de gases nobles para reacciones nucleares que comprende una película porosa de un material que se selecciona entre silicio, cobre, cobalto, titanio, aluminio o wolframio, la cual contiene en sus poros un gas que se selecciona entre helio y neón, puros o combinaciones de los mismos entre sí y con argón.

Constituyen otros objetos de la invención el procedimiento de preparación del blanco sólido, así como su uso en experimentos de dispersión elástica y de cinemática inversa.

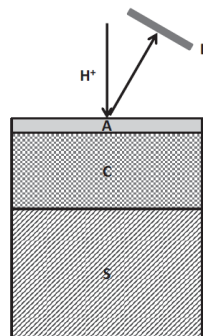


Figura 6 a

ES 2 582 052 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP 11/1986.

BLANCO SÓLIDO DE GASES NOBLES PARA REACCIONES NUCLEARES

DESCRIPCIÓN

5 **SECTOR DE LA INVENCION**

Física nuclear y particularmente el estudio de las propiedades de los núcleos alejados de la línea de estabilidad

ESTADO DE LA TECNICA

- 10 Una de las herramientas experimentales más potentes para la investigación de las propiedades de los núcleos alejados de la línea de estabilidad (núcleos "exóticos") es el estudio de reacciones nucleares ya sea con protones [dispersión elástica (p,p), transferencia de un neutrón (p,d), transferencia de dos neutrones (p,t)], ya sea con iones de He [dispersión elástica ($^4\text{He}, ^4\text{He}$), transferencia de dos neutrones ($^4\text{He}, ^6\text{He}$) e
- 15 incluso transferencia de cuatro neutrones ($^4\text{He}, ^8\text{He}$)].

Nótese que los núcleos exóticos no pueden usarse como blanco en estas reacciones nucleares, debido a su vida corta y por ello estos experimentos se realizan utilizando como haces de iones los núcleos exóticos y como blanco el ion ligero (p, d, He). Puesto que el objeto de estudio es el proyectil, y no el blanco, se denomina a estos

20 experimentos de "cinemática inversa".

Para las reacciones con protones, dado que el hidrógeno es gas, suelen utilizarse láminas de polietileno $(\text{CH}_2)_n$ para tener un blanco de hidrógeno sólido que se introduce en la cámara de reacciones. El estudio de reacciones nucleares de núcleos exóticos con blancos sólidos de He, resultaría muy útil para obtener información de

25 estos núcleos complementaria a la obtenida con blancos de hidrógeno.

El uso de blancos de He es difícil ya que el He es un gas, y no forma moléculas sólidas como en el caso del H. A pesar de ello, se han hecho experimentos con blancos gaseosos, en los que hay que tener en cuenta la pérdida gradual de energía del haz, así como la dificultad de obtener una resolución angular aceptable, ya que no

30 se conoce a priori el punto donde ocurre la reacción. Se han utilizado también blancos

de sólidos metálicos implantados con He en los que la cantidad de He queda limitada por la fluencia iónica utilizada para la implantación.

La utilización de blancos de H y de He aparece reflejada en el estado de la técnica desde 1939:

5 - N. P. Heydenburg; R. B. Roberts "Deuteron-Deuteron, Proton-Helium, and Deuteron-Helium Scattering" Physical Review vol. 56 (1939) 1092-1095

- N. P. Heydenburg; L. R. Hafstad y M. A. Tuve "The Scattering of Protons by Protons. III" Physical Review vol. 56 (1939) 1078-1091.

10 Otras publicaciones relevantes que se pueden mencionar entre los años 1940 y 2000 son:

- G. Freier; E. Lampi; W. Sleator y J.H. Williams. "Angular Distribution of 1- to 3.5-MeV Protons Scattered by He" Physical Review vol. 75 (9) (1949) 1345-1347 en la cual la distribución angular de protones dispersados por ^4He se mide en el sistema laboratorio en el rango de 1 a 3,5 MeV y en un intervalo de ángulos entre 10° y 164° . La cámara de dispersión estaba rellena de helio gaseoso purificado por almacenamiento previo en una trampa de carbón activo, antes de hacerlo pasar a la cámara de vacío.

15

- A.C.L. Barnard; C. M; Jones y J.L. Weil. "Elastic Scattering of 2-11 MeV protons by He^4 " Nuclear Physics 50 (1964) 604-620 en la que las secciones eficaces para la dispersión elástica de protones por ^4He se midieron en un rango de energías de protones comprendido entre $2 \leq E_p \leq 11$ MeV usando un acelerador tándem.

20

- W. Bradfield-Smith; T. Davinson; A. DiPietro; A.M. Laird; A.N. Ostrowski; A.C. Shotter; P.J. Woods; S. Cherubini; W. Galster; J.S. Graulich; P. Leleux; L. Michel; A. Ninane; J. Vervier; J.Görres; M. Wiescher; J. Rahighi y J. Hinnefeld. "Investigation of (α,p) reactions using a radioactive beam"; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 425 (1999). En esta publicación, la cámara del blanco consta de dos partes: una primera en vacío conectada al haz y la segunda, separada de la primera por una ventana metálica, que se podía rellenar con gas helio a una presión de 66 mbar. El tener una cámara llena con gas en lugar de una celda permitía barrer rangos de energía más amplios.

25

- M.S. Smith y K.E. Rehm. "Nuclear Astrophysics Measurements with Radioactive Beams", Ann, Rev. Nucl. Part. Sci. (2001), 51: 91-130, artículo en el cual se describen experimentos relevantes para astrofísica, en los cuales hidrógeno y helio aparecen como importantes blancos.

5 Ya más recientemente, se han descrito blancos de He líquido que se presenta relleno en una celda compacta de aluminio, la cual se mantiene a temperatura por debajo del punto de ebullición del gas, que puede ser hidrógeno, deuterio o helio. [H. Ryuto; M. Kunibu; T. Minemura; T. Motobayashi; K. Sagara; S. Shimoura; M. Tamaki; Y. Yanagisawa y Y. Yano. "Liquid hydrogen and helium targets for radioisotope beams at RIKEN"; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 555 (2005), 1-5].

En 2014, J. Walshe; M. Freer; C. Wheldon; L. N. Achouri; , N. I. Ashwood;

W. N. Catford; I. C. Celik; N. Curtis; F. Delaunay; B. Fernández-Domínguez; L. Grassi; Tz. Kokalova; M. Marqués; N. A. Orr; L. Prepolec; V. Scuderi; N. Soić y V. Tokić. "The thick target inverse kinematics technique with a large acceptance silicon detector array"; Journal of Physics: Conference Series 569 (2014) 012052, describen una técnica experimental para el estudio de la dispersión elástica usando un blanco gaseoso. El blanco es He gaseoso que rellena una cámara, ajustándose la presión de forma que el haz incidente se frena en el volumen gaseoso.

20 -R. Raabe; A. Andreyev; M. Huyse; A. Piechaczek; P. Van Duppen; L. Weissman; A. Wöhr; C. Angulo; S. Cherubini; A. Musumarra; D. Baye; P. Descouvemont; T. Davinson, A. Di Pietro; A. M. Laird; A. Ostrowski; A. Shotter; L. I. Galanina; y N. S. Zelenskaya. "2n-transfer contribution in the $^4\text{He}(^6\text{He},^6\text{He})^4\text{He}$ cross section at $E_{c.m.}=11.6$ MeV", Phys. Rev. C 67, 044602 (2003). En esta publicación el blanco consiste en una lámina de Ta (0,7 μm de espesor) implantada con He a diferentes energías. El espesor másico total de He en la capa es $2,7 \times 10^{17}$ partículas/cm², si bien el contenido atómico de impurezas de H, ¹²C y ¹⁶O en esta muestra se encuentra en cantidades comparables a la cantidad de He.

30 -P. Ujic; A. Lagoyannis; T. J. Mertzimekis; F. de Oliveira Santos; S. Harissopulos; P. Demetriou; L. Perrot; Ch. Stodel; M.-G. Saint-Laurent; O. Kamalou; A. Lefebvre-Schuhl; A. Spyrou; M. A. Amthor; S. Grevy; L. Caceres; H. Koivisto; M. Laitinen; J. Uusitalo y R. Julin. "Alpha-particle capture reactions in inverse kinematics relevant to p-

process nucleosynthesis” AIP Conference Proceedings 1377, (2011) 321 donde se estudia la reacción ${}^4\text{He}({}^{78}\text{Kr},\gamma){}^{82}\text{Sr}$ utilizando una lámina de $50\ \mu\text{g}/\text{cm}^2$ de Al ($0,2\ \mu\text{m}$) implantado con $1,3 \times 10^{17}$ partículas/ cm^2 de He.

5 El desarrollo de blancos sólidos de helio, con un alto número de partículas de He y una baja cantidad de impurezas (H, C, O) mediante su incorporación en silicio, resultaría muy útil, ya que permitiría realizar experimentos de dispersión nuclear, utilizando los mismos sistemas de detección que se utilizan para los blancos sólidos de hidrógeno (polietileno), con robustez y soportando un alto número de irradiaciones sin pérdida significativa de He como ya ha quedado demostrado en los blancos de Si:He ya
10 sometidos a un alto número de irradiaciones (fluencia igual a 6×10^{17} partículas/ cm^2) sin pérdida significativa de He.

La preparación de estos materiales está reflejada en R. Schierholz; B.Lacroix; V. Godinho; J. Caballero-Hernández; M. Duchamp y A. Fernández. “STEM–EELS analysis reveals stable high-density He in nanopores of amorphous silicon coatings deposited by magnetron sputtering”. Nanotechnology, Volume 26, Number 7(2015) 075703, en el cual se refieren detalles de la deposición por pulverización catódica (“magnetron sputtering”) en cuanto a materiales (en concreto, Si), acondicionamiento de alto vacío, ángulo, distancia, potencia, presión de He, etc. Se aportan los resultados del experimento en cuanto al producto obtenido, del que se menciona que tiene un
15 21% atómico de He y del que se calcula una porosidad del 22%. Se menciona también que la densidad de He en el interior de los poros es de 25 a $54\ \text{at}/\text{nm}^3$ y se recogen los valores del cálculo de la presión de He en el interior de los poros.
20

Sería igualmente deseable disponer de blancos sólidos autosoportados para reacciones nucleares que mejoren las prestaciones obtenidas con los dispositivos y
25 materiales referidos en el estado de la técnica.

BREVE DESCRIPCION DE LA INVENCION

Se definen a continuación diferentes términos utilizados a lo largo de la descripción de la presente invención.

30 En reacciones nucleares se define como blanco el núcleo atómico que al ser bombardeado por neutrones o partículas cargadas (proyectil), reacciona emitiendo una

o más partículas. Se define blanco sólido como un material sólido que contenga el núcleo atómico de interés.

Se define sustrato como el soporte físico sobre el cual se deposita el recubrimiento poroso.

5 Se define espesor másico de gas como el espesor del material usado como blanco en unidades de masa por unidad de superficie. La unidad utilizada será átomos de material por centímetro cuadrado. La razón para ello es que en la interacción de partículas cargadas con la materia, existe una relación funcional con la densidad del medio.

10 Se define porcentaje atómico (% at) como el porcentaje de átomos de un determinado elemento respecto al número total de átomos.

Se define proporción entre el gas y el material de la película porosa como la relación entre el número de átomos del gas y el número de átomos del material de la película porosa.

15 Se define recubrimiento autosoportado como el recubrimiento sin sustrato que se puede manipular.

En un primer aspecto constituye el objeto de la presente invención un blanco sólido de gases nobles para reacciones nucleares que comprende una película porosa de un material que se selecciona entre silicio, cobre, cobalto, titanio, aluminio o wolframio, la cual contiene en sus poros un gas que se selecciona entre helio y neón, puros o combinaciones de los mismos entre sí y con argón.

20 Para poder obtener el mejor comportamiento como blanco para reacciones nucleares, la película porosa presenta un espesor másico de gas comprendido entre 50×10^{15} at/cm² y 10000×10^{15} at/cm² con una proporción entre el gas y el material de la película porosa comprendida entre 0,05 y 0,50 y la presencia de impurezas se mantiene igual o por debajo del 5% at para el O del 1% at para el C.

25 En una forma de realización preferente, la película porosa es de silicio o cobalto y tiene un espesor másico referido a estos elementos comprendido entre 1000 y 20000×10^{15} at/cm². En una realización aún más preferente, el gas contenido en los poros de la película es helio. Constituye un segundo aspecto del objeto de la presente invención el procedimiento de preparación del blanco sólido sobre sustrato o autosoportado definido anteriormente. Este procedimiento comprende las siguientes etapas:

La deposición de estas capas porosas se ha realizado mediante pulverización catódica (“magnetron sputtering”) utilizando un blanco de un material que se selecciona entre Silicio, Cobre, Cobalto, Titanio, Aluminio, Wolframio en una atmosfera de He, Ne, puros o e combinaciones de los mismos entre sí o con Ar. Previamente a la deposición se

5 hace vacío en la cámara con calentamiento de las paredes para alcanzar vacíos residuales en el rango de 5×10^{-5} a 10^{-4} Pa. Para la producción de recubrimientos con diferente espesor másico de gas se han empleado mezclas con diferentes fracciones de $X/(X+Ar)$, de 0,2 a 1 X, siendo X el gas: He, Ne o mezcla de ambos manteniendo constante la presión total en 4,9 Pa y una distancia sustrato-blanco entre 5 y 10 cm.

10 Se utiliza una fuente de radio frecuencia o una fuente dc, preferentemente a una potencia de 50 a 300 W. El espesor del recubrimiento se controla ajustando el tiempo de deposición y la potencia aplicada. En una forma preferente de realización, la etapa de deposición tiene una duración comprendida entre 30 minutos y 5 horas.

Por último constituye un tercer objeto de la invención el uso de los blancos sólidos en

15 experimentos de dispersión elástica y en experimentos de cinemática inversa.

Los recubrimientos empleados como blancos sólidos en experimentos de dispersión elástica se depositan sobre sustratos de silicio monocristalino ó sustratos de carbono vidriado. Los recubrimientos autosoportados utilizados como blanco en experimentos de cinemática inversa se depositaron previamente sobre sustratos de cloruro sódico.

20 La transferencia del recubrimiento de este sustrato al bastidor, en el cual permanece autosoportado, se hace sumergiendo el cloruro sódico con el recubrimiento en agua destilada. El recubrimiento que se despegas del sustrato, se queda flotando, y se recupera con el bastidor.

25

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

Figura 1: a) Detalle de la microestructura porosa de la capa de silicio; b) difracción de electrones del recubrimiento mostrando su carácter amorfo.

Figura 2: Espectro de retrodispersión de protones del recubrimiento

30 **Figura 3:** Micrografia de barrido del recubrimiento autosoportado

Figura 4: Imagen del recubrimiento en el bastidor

Figura 5: Espectro de retrodispersión de protones del recubrimiento autosoportado

Figura 6: a) Esquema de blanco sólido de Si:He recubierto por Au; b) espectro de retrodispersión de protones sobre el blanco sólido y c) sección eficaz de la dispersión elástica ${}^4\text{He}(\text{H},\text{H}){}^4\text{He}$ entre 0,6 y 3,0 MeV a 165° .

- 5 **Figura 7:** a) Dispositivo experimental de dispersión hacia adelante de iones de ${}^6\text{Li}^{++}$ de 6 MeV de energía y ángulo de dispersión 30° en muestras Si:He y b) Espectro de dispersión hacia adelante de iones de ${}^6\text{Li}^{++}$ de 6 MeV de energía y ángulo de dispersión 30° en muestra Si:He autosoportada

10 MODO DE REALIZACION DE LA INVENCION

A continuación se describen una serie de ejemplos a modo ilustrativo de la invención.

Ejemplo 1. Fabricación del blanco sólido de He con espesor másico de metal comprendido entre $1000 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$ y $3000 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$ y espesor másico de gas comprendido entre $50 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$ y $1500 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$

- 15 El blanco sólido que posteriormente se utiliza en reacciones nucleares de dispersión elástica, se prepara utilizando la técnica de magnetrón sputtering en una cámara de vacío, utilizando un blanco inicial para sputtering de silicio puro (Kurt J. Lesker 99,999%) de 5 cm de diámetro, en una atmosfera de He. Previamente a la deposición se hace vacío en la cámara con calentamiento de las paredes para alcanzar vacíos
- 20 residuales en el rango de $1 \times 10^{-4} \text{ Pa}$. El recubrimiento se deposita a una presión de 4,9 Pa, en flujo dinámico, medida en un medidor de presión de capacitancia y utilizando una fuente de radio frecuencia a una potencia de 50W. La distancia entre el blanco inicial para sputtering y el portamuestras es de 5 cm y se deposita el recubrimiento durante 4 horas en sustratos de silicio monocristalino con orientación (100).
- 25 La microestructura del recubrimiento ha sido estudiada por microscopía electrónica de transmisión (TEM). En la figura 1 se presenta una micrografía del recubrimiento donde se puede apreciar la estructura porosa de poros elipsoidales con diámetros entre 2 y 30 nm. La difracción de electrones (ED) muestra que el recubrimiento poroso es amorfo.

La composición y el espesor másico de la muestra fueron analizados por espectrometría de retrodispersión de protones (Figura 2). El recubrimiento presenta un espesor másico total de $4250 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$ y se compone de $2750 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$ de Si y
 5 $1400 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$ de He con una incorporación de O de $100 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$.

Ejemplo 2. Fabricación del blanco sólido de He autosoportado con espesor másico de metal comprendido entre $3000 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$ y $20000 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$ y espesor másico de gas comprendido entre $1500 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$ y $10000 \times 10^{15} \text{ at/cm}^2$

- 10 El blanco sólido autosoportado que posteriormente se utiliza en reacciones nucleares de cinemática inversa, se prepara utilizando la técnica de magnetrón sputtering en una cámara de vacío, utilizando un blanco inicial para sputtering de silicio puro (Kurt J. Lesker 99,999%) de 5 cm de diámetro, en una atmosfera de He. Previamente a la deposición se hace vacío en la cámara con calentamiento de las paredes para
 15 alcanzar vacíos residuales en el rango de $4 \times 10^{-4} \text{ Pa}$. El recubrimiento se deposita a una presión de 4,9 Pa, en flujo dinámico, medida en un medidor de presión de capacitancia y utilizando una fuente de radio frecuencia a una potencia de 150W. La distancia entre el blanco inicial para sputtering y el portamuestras es de 10 cm y se deposita el recubrimiento durante 5 horas sobre sustratos de cloruro sódico y silicio.
- 20 La microestructura del recubrimiento ha sido estudiada por microscopia electrónica de barrido en la muestra depositada sobre silicio monocristalino que se presenta en la figura 3.

El recubrimiento depositado sobre cloruro sódico se transfirió al bastidor sumergiendo el cloruro sódico con el recubrimiento en agua destilada. El recubrimiento se despega
 25 del sustrato de cloruro sódico, se queda flotando y se recupera con el bastidor. Posteriormente se deja secar al aire.

La composición y el espesor másico de la muestra fueron analizados por espectrometría de retrodispersión de protones (Figura 5). El recubrimiento presenta un

espesor másico total de 14000×10^{15} at/cm² y se compone de 9100×10^{15} at/cm² de Si y 4200×10^{15} at/cm² de He con una incorporación de O de 700×10^{15} at/cm².

5 Ejemplo 3. Estudio de la sección eficaz de la dispersión elástica ${}^4\text{He}(\text{H},\text{H}){}^4\text{He}$ entre 0,6 y 3,0 MeV a 165° utilizando un blanco sólido de He

En este ejemplo se describe el estudio de la sección eficaz de la dispersión elástica ${}^4\text{He}(\text{H},\text{H}){}^4\text{He}$ empleando como blanco sólido de He un recubrimiento poroso de silicio que contiene He.

10 El recubrimiento se prepara utilizando la técnica de magnetron sputtering en una cámara de vacío, utilizando un blanco inicial para sputtering de silicio puro (Kurt J. Lesker 99, 999%) de 5 cm de diámetro, en una atmosfera de He. Previamente a la deposición se hace vacío en la cámara con calentamiento de las paredes para alcanzar vacíos residuales en el rango de 4×10^{-4} Pa. El recubrimiento se deposita a una presión de 4,9 Pa, en flujo dinámico, medida en un medidor de presión de
15 capacitancia y utilizando una fuente de radio frecuencia a una potencia de 150W. La distancia entre el blanco inicial para sputtering y el portamuestras es de 5 cm y se deposita el recubrimiento durante 30 minutos sobre sustratos de silicio monocristalino.

El análisis por espectrometría de retrodispersión de protones del recubrimiento (Figura 6 b) presenta un espesor másico total de 2200×10^{15} at/cm² y se compone de 1500
20 $\times 10^{15}$ at/cm² de Si y 700×10^{15} at/cm² de He.

Sobre el blanco sólido, preparado según se define en los párrafos anteriores, se depositó una capa fina de oro, utilizada como patrón interno para medida de las dosis. En la deposición de esta capa se utilizó un metalizador Emitech K550 en una atmosfera de Ar con una descarga de 10mA durante 90s. Se ha elegido Au como
25 material en la superficie ya que la sección eficaz del proceso $\text{Au}(\text{H},\text{H})\text{Au}$ es conocida (Rutherford) en todo el rango de energías estudiado. Se eligen las concentraciones de Au, Si y He indicadas para tener capas lo suficientemente delgadas para evitar pérdidas importantes o dispersión en energía del haz de protones y lo suficientemente gruesas como para obtener señales visibles de los elementos.

El blanco sólido utilizado queda esquematizado en la figura 6 (a). Consiste en un sistema de dos capas apiladas sobre un sustrato. La capa más externa es una fina película de Au de $1,1 \times 10^{15}$ at/cm². La siguiente capa consiste en una capa porosa de Si con He.

5

El blanco sólido se coloca en una cámara en vacío a 5×10^{-4} Pa de presión. Se hace incidir un haz de protones (H⁺) con energías comprendidas en el rango de 0,6 a 3,0 MeV en pasos de 0.1 MeV. Los protones dispersados por el Au, el Si y el He de la muestra tienen diferentes energías. La energía de estos protones es medida utilizando un detector de Si tipo "Passivated Implanted Planar Silicon" (PIPS) colocado a un determinado ángulo de dispersión. A partir de la medida de las intensidades de las señales de Au y He se puede calcular la sección eficaz de la dispersión ${}^4\text{He}(\text{H},\text{H}){}^4\text{He}$ para un determinado ángulo y energía del H⁺ incidente, por comparación con la sección eficaz del proceso Au(H,H)Au utilizando la fórmula

10

$$15 \quad \sigma_{\text{He}}(E) = \sigma_{\text{Au,Ruth}}(E) \cdot (A_{\text{He}}/A_{\text{Au}}) \cdot ((\text{Nt})_{\text{Au}}/(\text{Nt})_{\text{He}})$$

donde $\sigma_{\text{Au, Ruth}}(E)$ es la sección eficaz Rutherford de los protones sobre Au a una energía dada E, $(A_{\text{He}}/A_{\text{Au}})$ es el cociente de las áreas de las señales de He y Au respectivamente y $((\text{Nt})_{\text{Au}}/(\text{Nt})_{\text{He}})$ son el espesor másico de Au y He respectivamente.

20

Cambiando la energía del haz de H⁺ incidente es posible obtener curvas de sección eficaz para un determinado ángulo (Figura 6c)

25 Ejemplo 4. Dispersión elástica ${}^4\text{He}({}^6\text{Li}, {}^6\text{Li}){}^4\text{He}$ como base para experimentos de cinemática inversa ${}^4\text{He}({}^{11}\text{Li}, {}^{11}\text{Li}){}^4\text{He}$

En este ejemplo se utiliza un blanco sólido de He autosoportado que comprende una capa porosa de Si con He, para estudiar por cinemática inversa la sección eficaz del proceso ${}^6\text{Li}({}^4\text{He}, {}^4\text{He}){}^6\text{Li}$. Este ejemplo se presenta para ilustrar que sería posible utilizar el blanco sólido de He descrito a continuación en experimentos de cinemática inversa para estudios de reacciones nucleares con isótopos radioactivos como es el caso del ${}^{11}\text{Li}$.

30

- El blanco sólido autoportado que se utiliza para estudiar reacciones nucleares mediante cinemática inversa, se prepara utilizando la técnica de magnetron sputtering en una cámara de vacío, utilizando un blanco inicial para sputtering de silicio puro (Kurt J. Lesker 99,999%) de 5 cm de diámetro, en una atmósfera de He. Previamente
- 5 a la deposición se hace vacío en la cámara con calentamiento de las paredes para alcanzar vacíos residuales en el rango de 4×10^{-4} Pa. El recubrimiento se deposita a una presión de 4,9 Pa, en flujo dinámico, medida en un medidor de presión de capacitancia y utilizando una fuente de radio frecuencia a una potencia de 150W. La distancia entre el blanco inicial para sputtering y el portamuestras es de 10 cm y se
- 10 deposita el recubrimiento durante 5 horas sobre sustratos de cloruro sódico. El recubrimiento depositado sobre cloruro sódico se transfirió al bastidor sumergiendo el cloruro sódico con el recubrimiento en agua destilada. El recubrimiento se despegó del sustrato de cloruro sódico, se queda flotando y se recupera con el bastidor. Se deja secar al aire.
- 15 El blanco sólido autoportado utilizado queda esquematizado en la figura 7 (a). Consiste en una capa autoportada de Si:He colocada en un bastidor. El espesor másico de los elementos en la capa es de 9100×10^{15} at/cm² de Si y 4200×10^{15} at/cm² de He (medidos por p-EBS).
- El blanco sólido autoportado se coloca en una cámara en vacío a 5×10^{-4} Pa de
- 20 presión. Se hace incidir un haz de iones de ⁶Li con energía de 6,0 MeV. Los diferentes elementos de la muestra, dispersan el haz de iones de Li con diferentes energías por tener diferentes masas estos elementos. Además, los iones de ⁶Li al interactuar con el blanco sólido autoportado son capaces de arrancar átomos de la muestra. Se mide la energía de los iones dispersados y arrancados en el blanco sólido
- 25 autoportado con un detector de Si tipo PIPS a 30° de ángulo de dispersión como se muestra en la figura 7 (a). El espectro del experimento de dispersión se muestra en la figura 7 (b). En él se pueden ver, (de mayor a menor energía) las señales correspondientes a los iones de Li dispersados en el Si de la muestra (5110 keV), iones de He retrocedidos (arrancados) de la muestra por los iones de Li (4045 keV),
- 30 iones de Li dispersados en el He de la muestra (3225 keV) e iones de Si retrocedidos (arrancados) de la muestra por los iones de Li (2365 keV). La relación de alturas entre los picos de Li dispersados por el He de la muestra y el Si de la muestra (0,03) se ajusta a la predicción de los modelos teóricos vigentes para una muestra con una

relación $\text{He/Si} = 0,45$. Estos modelos toman secciones eficaces ya conocidas y aceptadas. Estos datos demuestran la posibilidad de utilizar el blanco sólido de He autosoportado descrito en experimentos de dispersión de iones de pesados. Si bien en este ejemplo se han utilizado iones de ${}^6\text{Li}$, el blanco sólido autosoportado podría ser del mismo modo utilizado en experimentos de cinemática inversa con haces de iones exóticos como ${}^6\text{He}$, ${}^8\text{He}$, ${}^{11}\text{Li}$, ${}^7\text{Be}$, ${}^{11}\text{Be}$, ${}^{10}\text{C}$ y ${}^{11}\text{C}$.

REIVINDICACIONES

- 1.- Blanco sólido de gases nobles para reacciones nucleares que comprende una película porosa de un material que se selecciona entre Si, Cu, Co, Ti, Al y W, la cual contiene en sus poros un gas que se selecciona entre He y Ne puros o combinaciones de los mismos entre sí y con Ar, caracterizado porque la película porosa presenta un espesor másico de gas comprendido entre $50 \times 10^{15} \text{at/cm}^2$ y $10000 \times 10^{15} \text{at/cm}^2$ con una proporción entre el gas y el material de la película porosa comprendida entre 0,05 y 0,50 y también caracterizado porque el contenido de impurezas de O es igual o inferior al 5% y el contenido de impurezas de C es igual o inferior al 1%.
- 5
- 10
- 2.- Blanco sólido según la reivindicación 1, caracterizado porque la película porosa es de silicio o cobalto y tiene un espesor másico referido a esos elementos comprendido entre 1000 y $20000 \times 10^{15} \text{at/cm}^2$.
- 15
- 3.- Blanco sólido según las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque el gas contenido en los poros de la película es He.
- 4.- Procedimiento de preparación de un blanco sólido según se define en las reivindicaciones 1 a 3 que comprende:
- 20
- establecimiento de condiciones de vacío comprendidas entre 5×10^{-5} y 10^{-4} Pa en una cámara con calentamiento en las paredes
 - deposición mediante pulverización catódica en la cámara de la etapa anterior de la película porosa de un material que se selecciona entre Si, Cu, Co, Ti, Al y W en una atmósfera de He y Ne puros o combinaciones de los mismos entre sí y con Ar a una presión de 4,9 Pa y a una distancia entre sustrato y blanco inicial para sputtering de 5
- 25
- a10 cm, utilizando una fuente que se selecciona entre radio frecuencia o de corriente continua.

5.- Procedimiento según la reivindicación 4, donde la potencia de la fuente está comprendida entre 50 y 300 W.

6.- Procedimiento según las reivindicaciones 4 y 5, donde la etapa de deposición tiene una duración comprendida entre 30 minutos y 5 horas.

7.- Uso de un blanco sólido según se define en las reivindicaciones 1 a 3 en experimentos de dispersión elástica.

8.- Uso según la reivindicación 7 donde los blancos sólidos se depositan sobre sustratos de silicio monocristalino.

9.- Uso según la reivindicación 7, donde los blancos sólidos se depositan sobre sustratos de carbono vidriado.

15

10.- Uso de un blanco sólido según se define en las reivindicaciones 1 a 3 en experimentos de cinemática inversa.

11.- Uso según la reivindicación 10 donde se utilizan recubrimientos autoportados como blancos sólidos.

20

12.- Uso según la reivindicación 11 donde los revestimientos autoportados se depositan previamente sobre sustratos de NaCl.

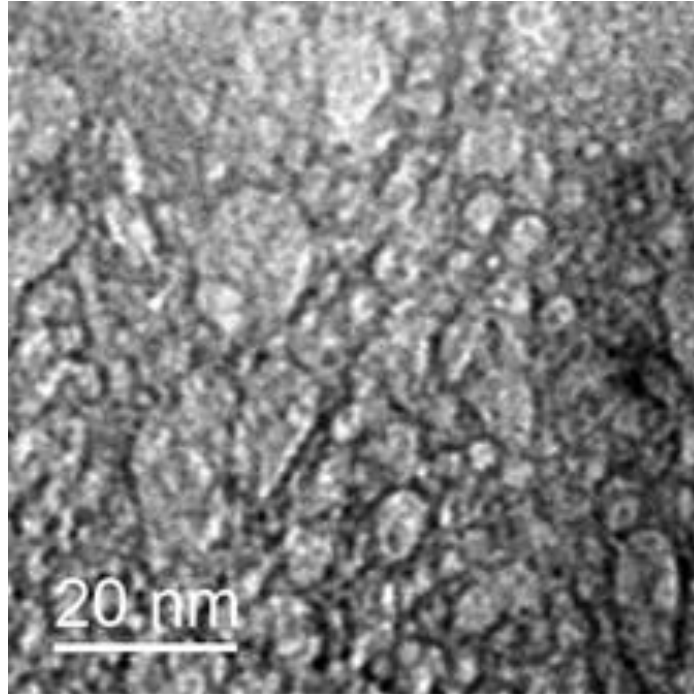


Figura 1a

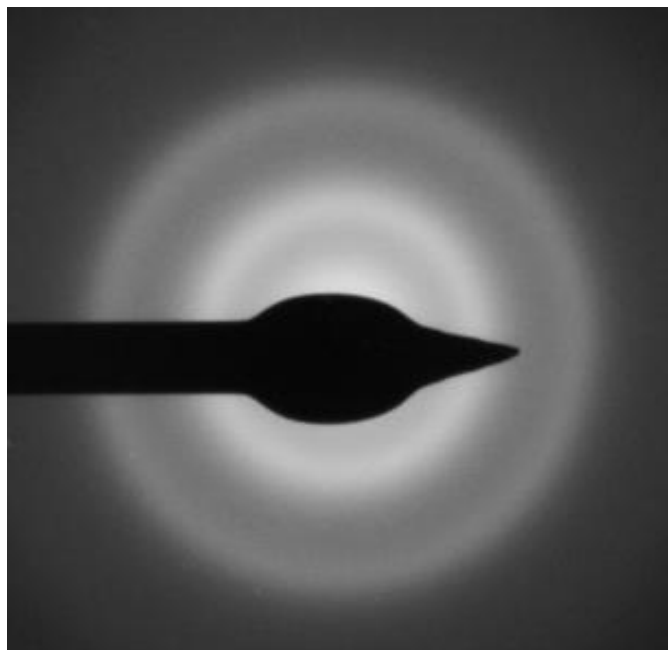


Figura 1b

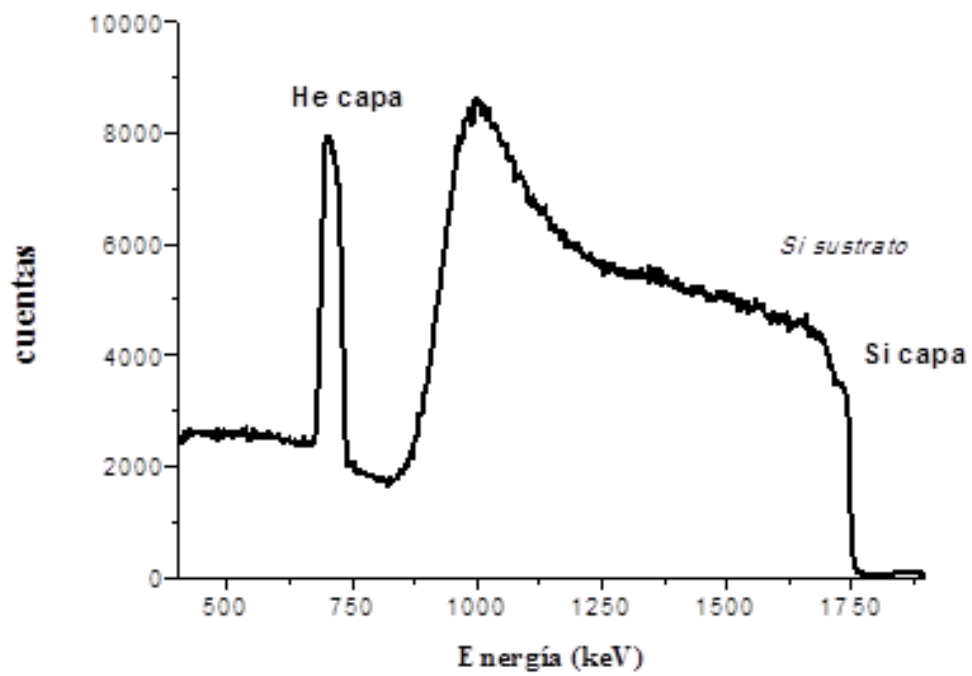


Figura 2

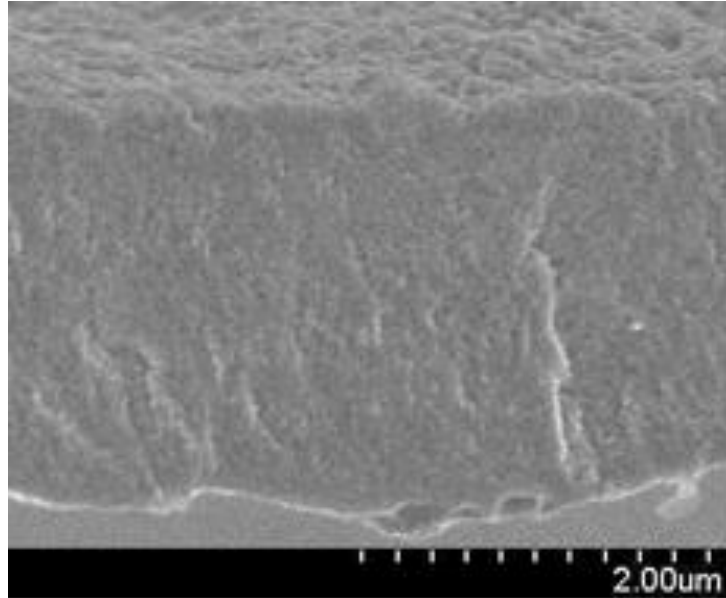


Figura 3



Figura 4

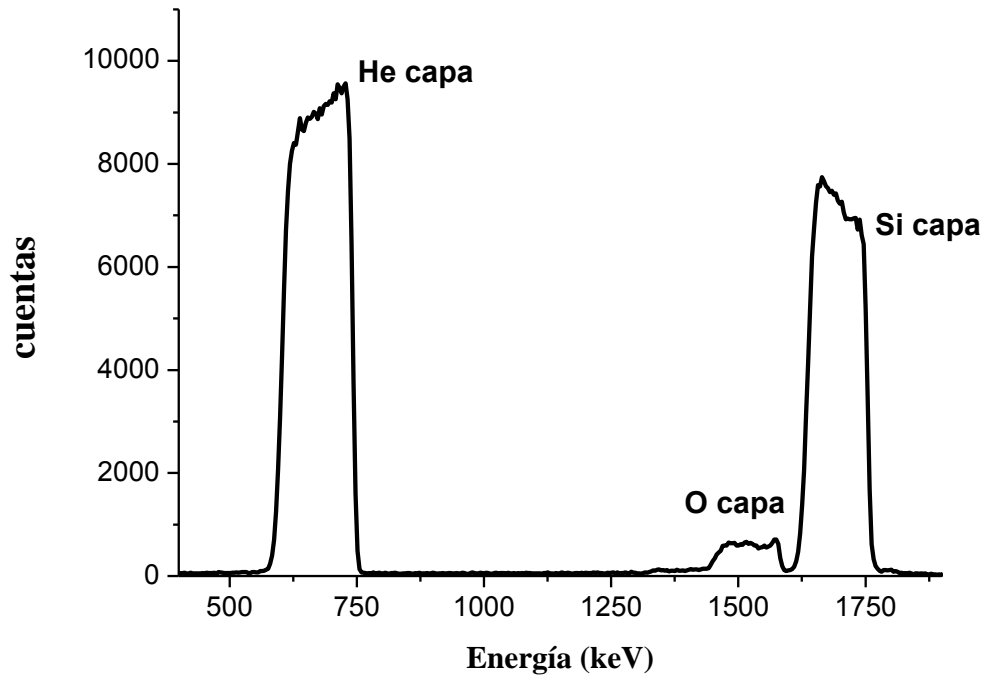


Figura 5

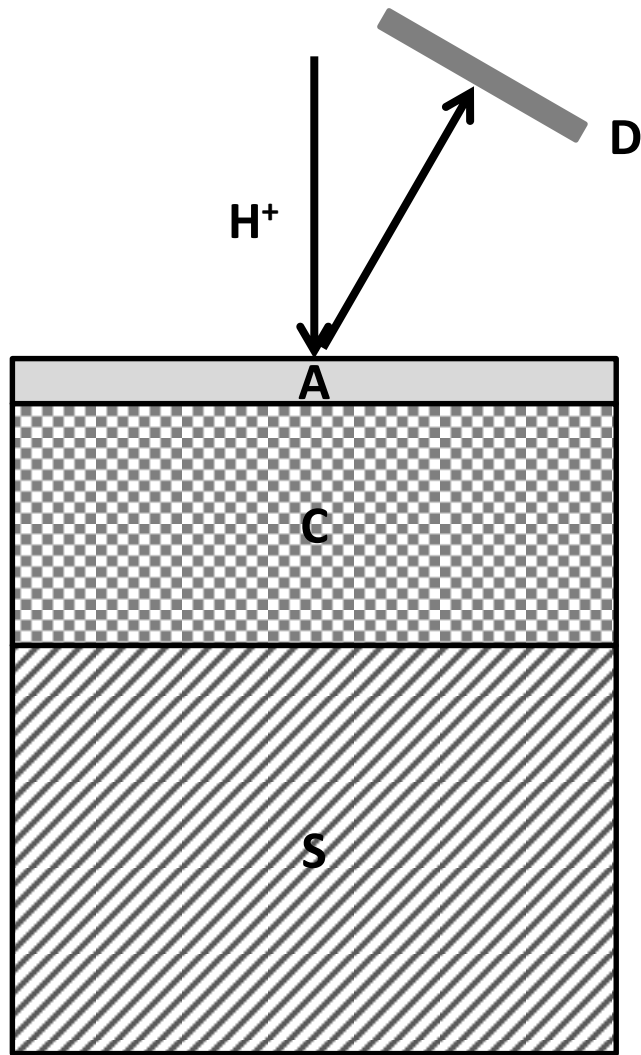


Figura 6 a

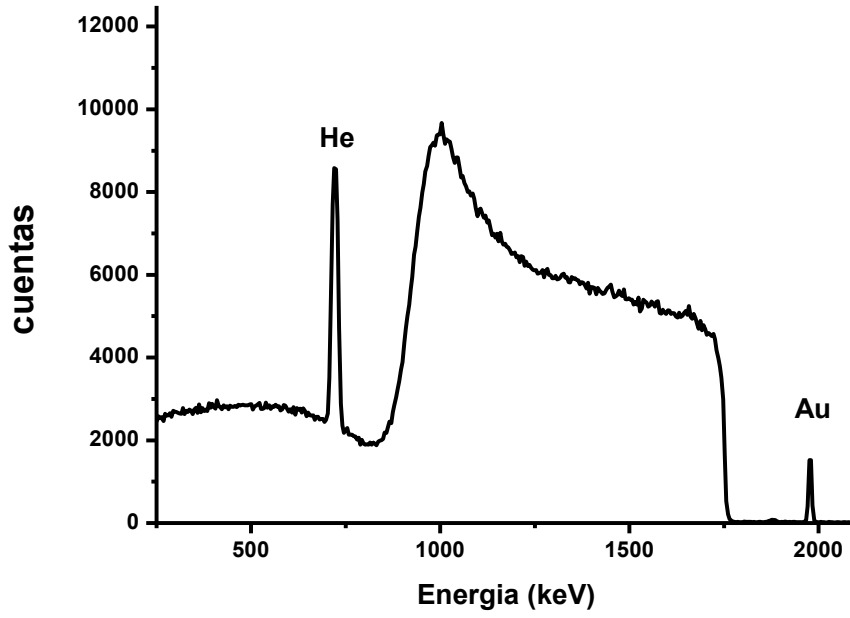


Figura 6 b

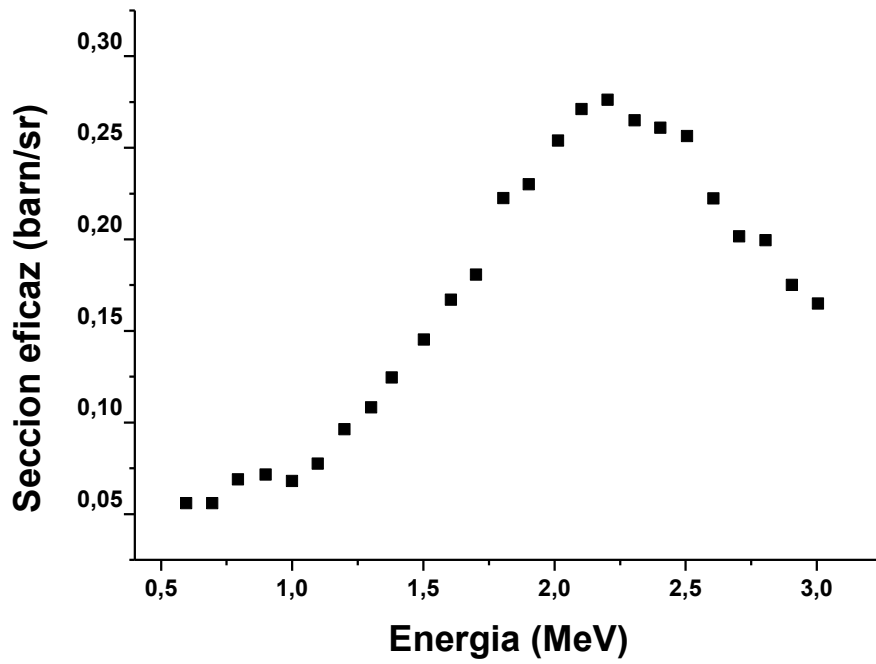


Figura 6 c

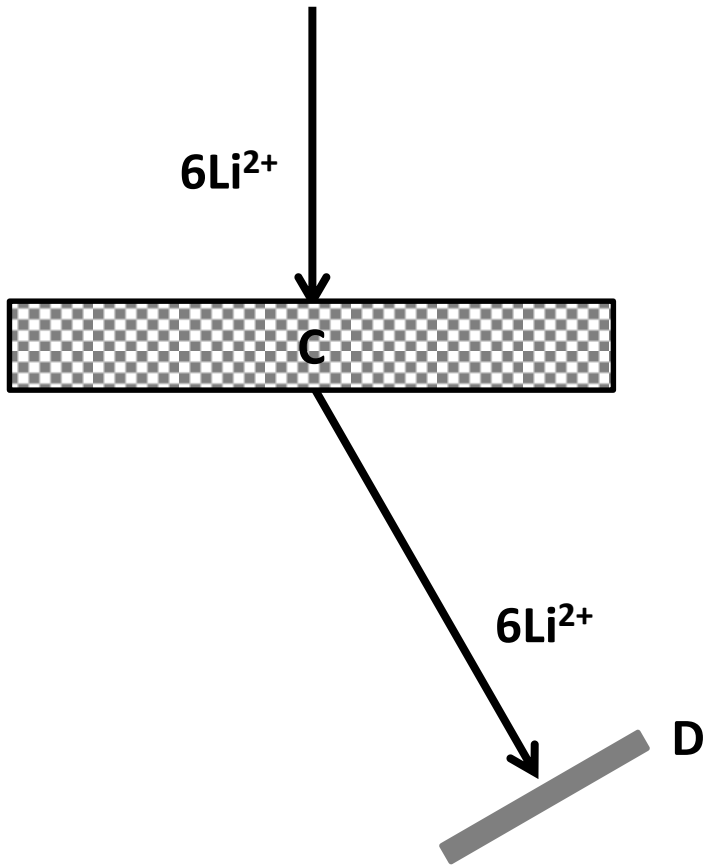


Figura 7 a

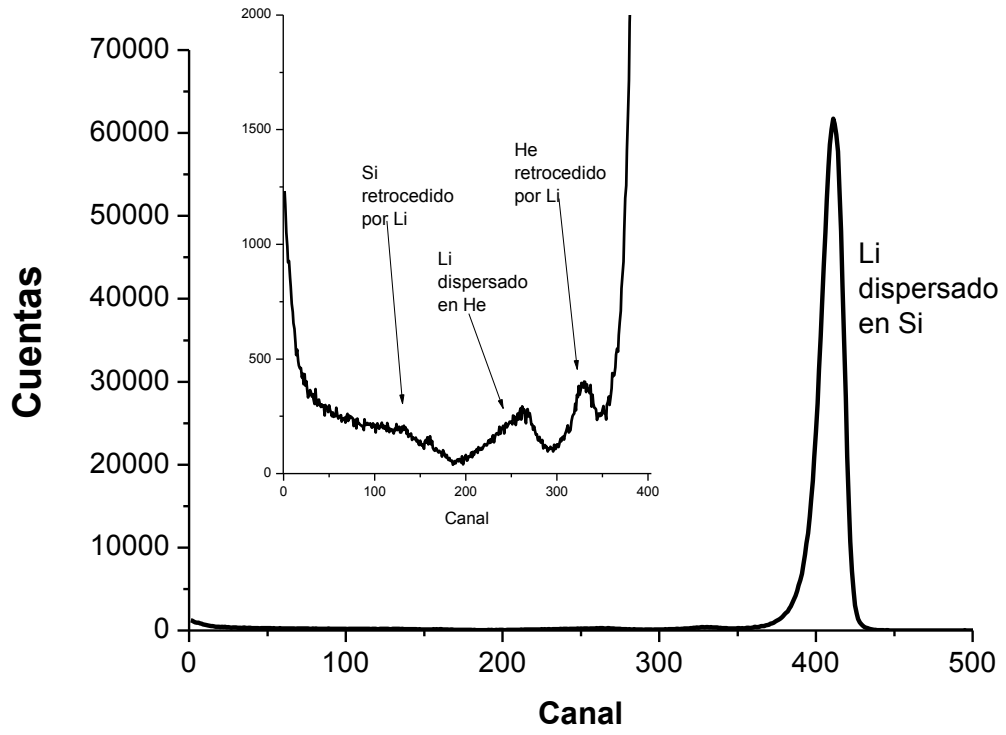


Figura 7 b