


**GERENCIA DE FÍSICA - GAIYANN**

Departamento Interacción de Radiación con la Materia  
 División Física Atómica, Molecular y Óptica  
 Acelerador de Iones Tándem de 1.7 MV

INT-INN\_03AIT-003

**Informe Técnico**

Página: 1 de 6

**TÍTULO:** Medición de la relación isotópica en una muestra de helio.

**1. OBJETIVO**

 Determinar la concentración de  $^3\text{He}$  en una muestra preparada con  $^3\text{He}$  y  $^4\text{He}$ .

**2. SOLICITANTE**

Mario A. J. Mariscotti , THASA.

**Preparó**

Nombre y Apellido (Filiación)	Firma
Sergio Suárez (CONICET) Cesar Olivares (CNEA) Pablo Pérez (CONICET) Guillermo C. Bernardi (CNEA)	

**Aprobó**

Nombre y Apellido	Fecha	Firma
OSCAR GRIZZI	13/9/2016	

**NOTA:** Este documento es propiedad de CNEA y se reserva todos los derechos legales sobre él. No está permitida la explotación, transferencia o liberación de ninguna información en el contenido, ni hacer reproducciones y entregarlas a terceros sin un acuerdo previo y escrito de CNEA.

<b>CNEA</b>	<b>Identificación elemental y cuantificación de muestras arqueológicas mediante PIXE</b>	INT-INN_03AIT-003 Página: 2 de 6
-------------	--	-------------------------------------

## INDICE

1. OBJETIVO.....	1
2. SOLICITANTE .....	1
3. DESARROLLO.....	3
4. REFERENCIAS.....	6
5. INFORMACIÓN DE CONTACTO .....	6
6. ANEXOS.....	6

<b>CNEA</b>	<b>Identificación elemental y cuantificación de muestras arqueológicas mediante PIXE</b>	INT-INN_03AIT-003 Página: 3 de 6
-------------	--	-------------------------------------

### 3. DESARROLLO

Este informe presenta resultados de una prueba preliminar para determinar la relación isotópica de una muestra de helio utilizando un acelerador de iones tipo tándem [1]. El objetivo es evaluar la factibilidad de medir la relación de concentraciones de  $^3\text{He}$  y  $^4\text{He}$  en muestras obtenidas en tareas de exploración asociadas a la industria petrolífera. Para la prueba presente se trabajó con una muestra enriquecida en  $^3\text{He}$  que fue preparada en el laboratorio expandiendo en un cilindro de gas, previamente evacuado, una cantidad aproximada a 0.1 l de  $^3\text{He}$  (99.8%) y a continuación cargando  $^4\text{He}$  (UHP, 99.999%) a una presión cercana a 6 at. La relación isotópica puede estimarse groseramente en 3%.

Entre los métodos utilizados para medir el contenido de isótopos de un determinado elemento en muestras de muy diversos orígenes, se encuentra el que utiliza un acelerador de iones tipo tándem a modo de espectrómetro de masas. La idea es utilizar la muestra a analizar como fuente de los distintos iones que se aceleran a alta energía y que son separados en masa por campos eléctricos y magnéticos. Si la separación en masa es eficiente el sistema de detección, ya sea midiendo la corriente de haz o la tasa de iones detectados individualmente, permite determinar la relación isotópica. Las principales dificultades en esta disciplina son, en primer lugar, la separación eficiente cuando los isótopos tienen diferencias relativas pequeñas en masa y, en segundo lugar, la interferencia de otros iones que contribuyen a la medición de un determinado isótopo y el sistema no logra separar. En este sentido la utilidad de un acelerador tipo tándem consiste en que, debido al intercambio de carga del haz en un gas o lámina sólida, puede evitarse la interferencia de iones moleculares dado que son disociados en ese proceso.

Los aceleradores tándem específicamente utilizados para AMS (Accelerator Mass Spectrometry) utilizan deflexión magnética de  $90^\circ$  tanto en el inyector de iones como a la salida para mejorar la separación en masa. En nuestro caso el inyector tiene deflexión magnética de  $30^\circ$ . A la salida del acelerador se utilizó la línea dedicada a análisis de materiales (5 m de longitud a  $15^\circ$ ) donde se midió la corriente de haz en un portamuestras de la cámara de análisis. Esta situación no es adecuada para la mayoría de las aplicaciones de AMS, sin embargo en el caso particular del helio la gran diferencia relativa entre masas lo hace posible. Por otra parte, el intercambio de carga permite eliminar la posible contaminación de la molécula  $\text{HD}^+$  en el haz de  $^3\text{He}^+$ .

La muestra fue preparada en uno de los cilindros de gas que alimentan la fuente de iones de RF del acelerador. Debemos notar que para obtener una buena intensidad de iones  $\text{He}^+$  a la salida de la fuente el gas debe tener una relativa pureza, del orden de 98% o mayor. Asimismo, la cantidad de gas necesaria debe permitir mantener en forma continua el funcionamiento de la fuente durante los preparativos, la medición y el apagado del acelerador. Podemos estimar que 1 litro de gas (NPT) sería suficiente para realizar la medición.

<b>CNEA</b>	<b>Identificación elemental y cuantificación de muestras arqueológicas mediante PIXE</b>	INT-INN_03AIT-003 Página: 4 de 6
-------------	--	-------------------------------------

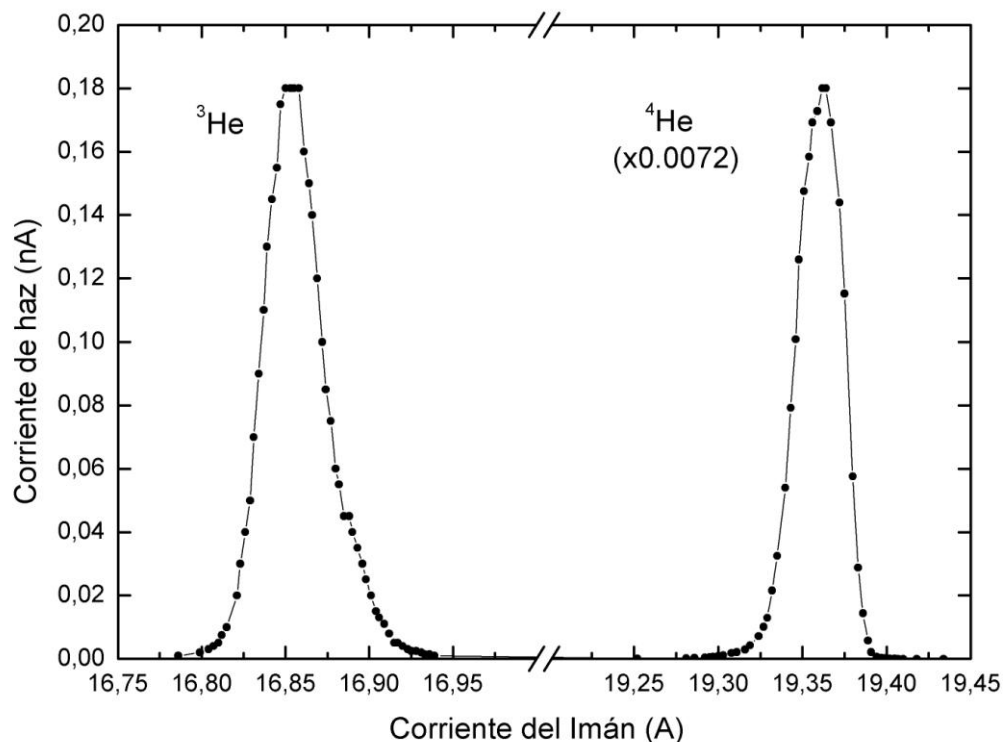
El método de trabajo consistió en optimizar la intensidad del haz de  $^3\text{He}$ , que fue acelerado a 2 MeV de energía. Posteriormente, manteniendo constante la tensión de aceleración, se ajustó la corriente de los selectores magnéticos en el inyector de iones y a la salida del acelerador hasta ubicar el haz de  $^4\text{He}$ , maximizando su intensidad con los distintos parámetros en valores cercanos a los iniciales. Para disminuir los parámetros a ajustar, en la línea de medición no se utilizaron elementos de enfoque y posicionamiento del haz.

Un método alternativo para medir es mantener constante la corriente del imán selector a la salida del acelerador y variar la tensión de aceleración. En nuestro caso, con tensión de aceleración constante, la tabla siguiente presenta los valores de los parámetros para maximizar la intensidad de ambos haces.

	$^3\text{He}$	$^4\text{He}$
Bobina Fuente RF	3.998 A	3.998 A
Horno	69.8 V	69.8 V
Temperatura del horno	219 °C	220 °C
Temperatura de la cámara	67 °C	69 °C
Corriente (Probe)	2.2 mA	2.0 mA
Bias	-20.03 kV	-20.03 kV
Foco	-16.01 kV	-15.80 kV
Imán deflector (Inyector)	6.12 A	7.10 A
Steerer X (inyector)	+125 V	+126 V
Steerer Y (inyector)	+184 V	+184 V
Lente Einzel	-24.43 kV	-24.50 kV
Tensión de aceleración	0.986 MV	0.985 MV
Stripper	3.46	3.46
Cuadrupolo magnético	3.184 A	3.217 A
Balance	-3.01	-4.53
Steerer Y (Enfoque y Deflexión)	-0.0085 A	-0.0100 A
Imán deflector	16.854 A	19.361 A
Imán deflector (FWHM)	0.039 A	0.034 A
Colimador entrada línea RC43	0.8 mm	0.8 mm
Corriente máxima en RC43	180 pA	25 nA

La corriente medida de  $^3\text{He}^+$  es 0.7% de la de  $^4\text{He}^+$ . Partiendo de la expresión para el radio de giro  $R$  de una masa  $M$  y carga  $q$  con energía  $E$  en un campo magnético uniforme,  $R = (2.M.E)^{1/2}/q.B$ , obtenemos para la relación entre los campos  $B_3$  para deflectar  $^3\text{He}^+$  y  $B_4$  para  $^4\text{He}^+$  ( $E$  y  $R$  constantes):  $B_3/B_4 = (M_3/M_4)^{1/2} = 0.866$ . Tomando el cociente de las corrientes del imán que maximizan los haces obtenemos  $i_3/i_4 = 0.871$ . Sería necesario medir directamente el campo magnético de deflexión si se quiere verificar la relación entre  $B_3$  y  $B_4$ , debido a que el cociente de corrientes depende de la presencia del campo magnético remanente.

Adicionalmente, después de optimizar cada uno de los haces, se realizó un barrido manual de la corriente del imán deflector a la salida del acelerador en el entorno de la intensidad máxima. En la siguiente figura se muestran los resultados obtenidos. Para el  $^4\text{He}$  la campana no es simétrica y su flanco izquierdo es similar al del  $^3\text{He}$ . En éste el flanco derecho muestra una posible contribución ajena al haz principal, pero que no puede atribuirse a un contaminante de masa similar.



El problema de cuantificar la relación isotópica a partir de las intensidades medidas requiere varias consideraciones. En el caso presente, con una muestra enriquecida en  $^3\text{He}$ , puede medirse la corriente del haz para ambos iones con un electrómetro. Si la relación isotópica fuera la del helio en la atmósfera,  $1,4 \times 10^{-6}$ , podrían contarse individualmente los iones  $^3\text{He}^+$  con un detector, mientras que el haz de  $^4\text{He}^+$  puede medirse con un electrómetro. La tasa de iones  $^3\text{He}^+$  que puede medirse dependerá del tipo de detector. También puede recurrirse a un método de atenuación para medir con el mismo detector el  $^4\text{He}^+$ , pero en ese caso se introduce una incerteza extra debida al mecanismo de atenuación.

<b>CNEA</b>	<b>Identificación elemental y cuantificación de muestras arqueológicas mediante PIXE</b>	INT-INN_03AIT-003 Página: 6 de 6
-------------	--	-------------------------------------

Es claro que la precisión requerida en la medición dependerá de los valores de la relación isotópica que tratan de discriminarse, es decir si difieren en órdenes de magnitud o sólo en un porcentaje del 20%, 50% o aún de un 100%. Independientemente del sistema de detección de los haces de iones, hay dos factores que deben considerarse en la cuantificación de la relación isotópica. En primer lugar, dado que los parámetros del acelerador deben variarse, hay que considerar la posibilidad de una transmisión diferente de los iones de masa 3 y 4 desde el plasma de la fuente de iones hasta el sistema de medición de intensidad. En segundo lugar, por el sistema de aceleración tipo tándem que requiere un intercambio de carga, debe considerarse la variación de las fracciones de carga para las masas 3 y 4. Esto puede evaluarse a partir de las secciones eficaces de cambio de carga en función de la velocidad del ión. Respecto a la transmisión del haz a lo largo del sistema, podemos notar en la lista anterior que en general los parámetros del acelerador se modificaron levemente para maximizar el  $^4\text{He}^+$  luego de optimizar el haz de  $^3\text{He}^+$ . Sin embargo es claro que salvo que se requiera solamente una estimación del orden de magnitud de la relación isotópica, es necesario trabajar con patrones homologados que deben estar cercanos a la magnitud de la relación isotópica en las muestras que se quiere medir.

Una variante en este método de medición es utilizar los iones de carga +2 para medir la intensidad de los haces. La medición de las fracciones de carga de equilibrio muestran que para energías mayores a 0.6 MeV es dominante el ion  $\text{He}^{2+}$  [2].

#### 4. REFERENCIAS

[1] En colaboración con Andrés Arazi (CAC), Guillermo Marti (CAC) y Pedro Thieberger (Brookhaven National Laboratory, USA).

[2] L. I. Pivovarov, V. M. Tubaev, and M. T. Novikov, Soviet Physics JETP **14**, 20 (1962).

#### 5. INFORMACIÓN DE CONTACTO

Acelerador de Iones Tándem de 1.7 MV  
División Física Atómica, Molecular y Óptica  
Centro Atómico Bariloche  
Av. Bustillo 9500, S.C. de Bariloche  
Río Negro, Argentina  
Tel: 54-2944-445233/445100  
Fax: 54-2944-445299  
Sergio Suárez: [suarez@cab.cnea.gov.ar](mailto:suarez@cab.cnea.gov.ar)  
Daniel Fregenal: [fregenal@cab.cnea.gov.ar](mailto:fregenal@cab.cnea.gov.ar)  
Guillermo Bernardi: [bernardi@cab.cnea.gov.ar](mailto:bernardi@cab.cnea.gov.ar)  
<http://www.cab.cnea.gov.ar>  
<http://fisica.cab.cnea.gov.ar/colisiones/>

#### 6. ANEXOS

**No aplicable.**