

EXPLOSIÓN COULOMBIANA DE MOLÉCULAS H_2^+ DE 25 A 100 KeV/amu EN ALUMINIO

G. Lantschner*, J.C. Eckardt

Centro Atómico Bariloche (CAB) - CNEA
E.Bustillo Km 9,5 - (8400) -S.C. de Bariloche - Argentina
e-mail: lantschner@cab.cneal.edu.ar

Cuando un ion molecular de hidrógeno atraviesa una lámina delgada, pierde su electrón ligante en las primeras capas atómicas. A consecuencia de esto los dos protones se separan bajo la acción del potencial repulsivo entre ellos. En un metal el potencial será del tipo coulombiano, apantallado por los electrones libres del sólido, dependiendo este apantallamiento de la velocidad de los iones. Presentamos en este trabajo mediciones de espectros de energía de los fragmentos de disociación de iones H_2^+ en películas de Al de 19 nm de espesor con energías de entre 25 y 100 keV/nucleón. Se comparan los resultados con espectros de energía de haces de protones de igual velocidad. Esta comparación hace visible la explosión coulombiana, pudiéndose observar un incremento en los anchos de las distribuciones con la velocidad lo que es consecuencia de una disminución del apantallamiento y el efecto de la transformación del sistema centro de masa del proyectil al sistema laboratorio.

When molecular ions of hydrogen traverse thin solid films, they loose their binding electron in the first atomic layers. As a consequence the two protons separate under the effect of the repulsive internuclear potential. In the case of a metal this potential is a coulomb potential screened by the free electrons of the solid. This screening depends on the ion velocity. In this work we present measurements of the energy spectra of protons product of the dissociation of H_2^+ in 19 nm Al films. The ion energy ranged from 25 to 100 keV/amu. The results are compared with the spectra of protons of the same velocity to visualize the coulomb explosion. One can observe a broadening of the spectra with increasing ion velocity, which is a consequence of a diminution of the screening with velocity, and the effect of the transformation from the center of mass of the projectile to the laboratory reference frames.

I. INTRODUCCIÓN

Cuando un ion molecular de hidrógeno penetra en un sólido, pierde su electrón ligante en las primeras capas atómicas a consecuencia de lo cual los dos protones se separan bajo la acción del potencial repulsivo entre ellos^(2,6). Se denomina explosión coulombiana a la transformación de la energía potencial coulombiana en energía cinética de los protones⁽²⁾. Si bien esta energía es de unos pocos electrón voltios en el sistema de centro de masa del proyectil, en el sistema de referencia del laboratorio puede ser considerable, dependiendo de la energía inicial del ion molecular.

En el centro de masa del proyectil podemos escribir la energía de explosión E_{exp} para partículas de igual masa m como:

$$E_{exp} = U(r) = \frac{1}{2} mu^2 + \frac{1}{2} mu^2 = mu^2$$

donde u es la velocidad en el CM. En el sistema de referencia del laboratorio tenemos:

$$\Delta E_{max} = \frac{1}{2} m(v+u)^2 - \frac{1}{2} m(v-u)^2 = 2muv$$

donde v es la velocidad del ion molecular y ΔE_{max} es la máxima diferencia de energía entre las partículas

debido a la explosión. Esta condición se alcanza si la molécula explota con su eje internuclear alineado según la dirección de incidencia. Esta ecuación se puede escribir como:

$$\Delta E_{max} = 2mv\sqrt{\frac{U}{m}} = 2\sqrt{Umv^2} = 2\sqrt{U \cdot E_{mol}}$$

donde E_{mol} es la energía cinética de la molécula incidente.

Este ΔE_{max} se puede determinar experimentalmente colocando un analizador de energías de pequeña aceptación angular sobre el eje de incidencia del haz. De esta manera no se detectarán aquellas partículas disociadas provenientes de moléculas con otras orientaciones internucleares dado que se alejarán de la línea original del haz.

Si la disociación ocurriese en el vacío, las moléculas explotarían con un potencial coulombiano puro. En el caso que nos ocupa, la explosión dentro de un sólido metálico, los potenciales repulsivos serán del tipo coulombianos apantallados por los electrones libres del metal, dependiendo este apantallamiento de la velocidad de los iones⁽²⁾.

Presentamos aquí mediciones de espectros de energía de los fragmentos de disociación de iones moleculares H_2^+ con energías de entre 25 y 100 keV/nucleón, correspondiente a velocidades de entre 1 y 2 u.a., en películas de aluminio de 19 nm de espesor.

II. EQUIPO EXPERIMENTAL

El haz de iones moleculares se genera con un acelerador electrostático de 10 - 200 keV con una fuente de iones del tipo radiofrecuencia. Es analizado magnéticamente en masa y colimado a un diámetro de 1 mm. La intensidad de este haz sobre el blanco es del orden de 10^{-11} A. El análisis de energía fue realizado mediante un analizador electrostático de sector cilíndrico con una resolución en energía del 0.3%, y una aceptación angular de 0.05° . La detección de iones a la salida del analizador se efectuó con un multiplicador de electrones de dinodo discreto de alta ganancia.

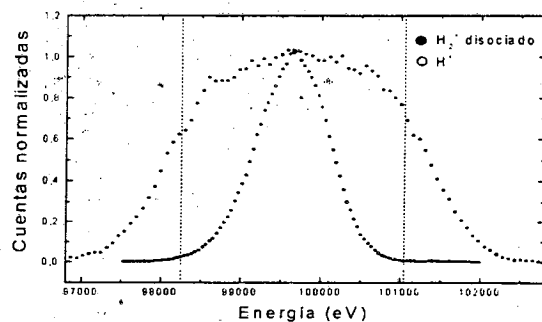
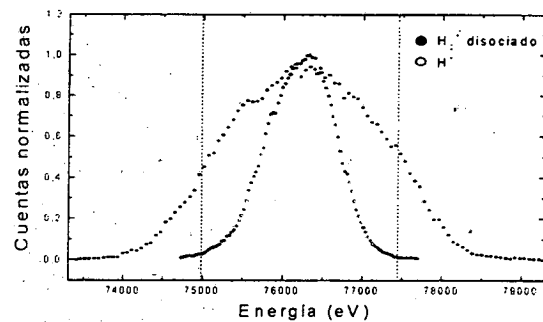
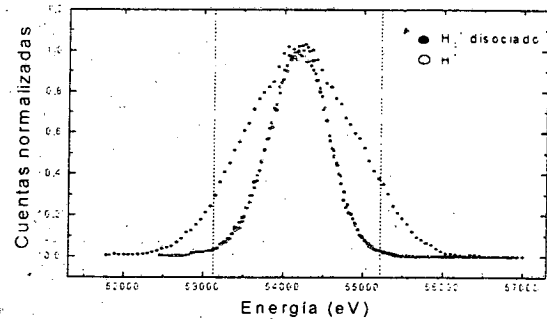
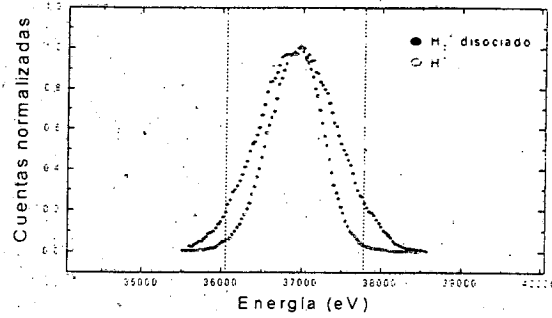
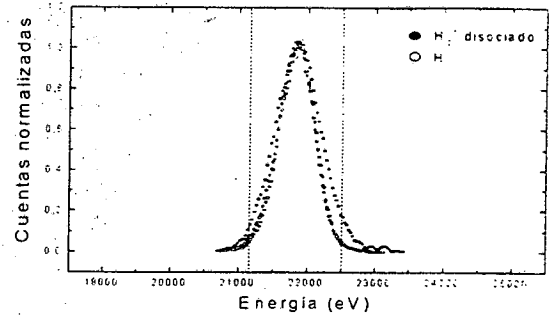
Se utilizó un blanco de aluminio autosoportado de 2 mm de diámetro y 19 nm de espesor con una uniformidad en espesor mejor al 12% ⁽³⁾ obtenido por evaporación en alto vacío ⁽⁴⁾. Su espesor se determinó midiendo la pérdida de energía de protones de 200 keV en ellas, y utilizando las tablas de secciones eficaces de frenamiento de Andersen y Ziegler ⁽⁵⁾.

III. RESULTADOS Y CONCLUSIONES:

En las figuras 1 a 5 mostramos los espectros de energía de los fragmentos de disociación de iones moleculares de hidrógeno luego de atravesar la lámina de aluminio. Para distintas energías incidentes. Para fines de comparación estas figuras también muestran los espectros de energía medidos con un haz de protones de igual velocidad después de atravesar las mismas folias. Se puede observar un fuerte ensanchamiento de los espectros debido a la repulsión coulombiana.

En estos gráficos también se ha marcado la energía correspondiente a una explosión coulombiana pura en el vacío para una molécula de hidrógeno con una separación internuclear inicial de 1,5 Angstrom. Se observa cómo para energías de incidencia menores el apantallamiento del potencial en el metal se hace cada vez más efectivo reduciendo la separación de los fragmentos de disociación.

Figuras 1 a 5: Espectros de energía de protones simples y protones provenientes de la disociación de moléculas para distintas energías de haz incidente. Los trazos verticales indican las energías correspondientes a una explosión coulombiana sin apantallamiento. Las energías de incidencia de los iones moleculares son de 23790, 39200, 56670, 78767 y 101750 keV/amu respectivamente. Los espectros de los protones simples han sido desplazados unas pocas decenas de eV a fin de facilitar la comparación de los anchos.



Otro aspecto de este proceso es que una pequeña porción del haz molecular no sufre repulsión alguna debido que algunos proyectiles de hidrógeno pueden viajar en el sólido en estado neutro⁽⁶⁾. Estos contribuyen a un pico central en el espectro. Debido a que sólo observamos a aquellos productos de explosión coulombiana provenientes de moléculas con eje internuclear paralelo a la dirección del haz, pero al pico central contribuyen fragmentos que no sufrieron repulsión provenientes de moléculas incidentes con cualquier orientación. Este pico central es relativamente importante frente a los dos picos laterales del espectro. Dado que el proceso de frenado en el metal produce una dispersión de energía cuya magnitud es visible en los espectros correspondientes a los protones incidentes, no es posible resolver claramente los tres picos en los espectros de energía correspondientes a las moléculas.

Como conclusión se puede extraer que el estudio de los espectros de energía de moléculas transmitidas a través de láminas delgadas constituye

una herramienta para el estudio de los efectos dinámicos del apantallamiento de cargas en un metal.

Referencias

- 1 - W.P. Pietsch, D.S. Gemmell, P.J. Cooney, E. P. Kanter, D. Kurath, A.J. Ratkowski, Z. Vager y B.J. Zabransky. Nucl. Instrum Meth. 170, 61 (1980).
- 2 - M.P. Carpenter, R.W. Dunford, D.S. Gemmell, T. Grager, R.V.F. Janssens, E.P. Kanter, J.A. Nolen y Z. Vager. Phys. Rev. A 55, 2090 (1997).
- 3 - J.C. Eckardt y G.H. Lantschner. Thin Solid Films, 249, 11 (1994).
- 4 - A. Valenzuela y J.C. Eckardt. Rev. Sci. Instrum. 42, 127 (1971).
- 5 - H.H. Andersen y J.F. Ziegler. Vol. 3 de Stopping and Ranges of Ions in Matter, editado by J.F. Ziegler, (Pergamon, New York, 1977).
- 6 - R. Laubert y F.K. Chen. Phys. Rev. Lett., 40, 174 (1978).

CEILAP
CITEFA CONICET
ZUFRIATEGUI Y VARELA
1603 - VILLA MARTELLI
REPUBLICA ARGENTINA