

ACTIVIDADES EXPERIMENTALES A ENERGÍAS INTERMEDIAS EN BARILOCHE

W. Meckbach

Centro Atómico Bariloche, 8400 S.C. de Bariloche

En el presente informe, y de acuerdo con lo convenido con los organizadores de este encuentro, se da un resumen de las actividades de nuestro laboratorio desde que se inició la investigación en colisiones atómicas en Bariloche en 1963. Este inicio fue estimulado por un ilustre invitado y amigo, el Prof. S.K. Allison de la Universidad de Chicago, fallecido ya en 1965.

En aquella época se había terminado la construcción de nuestro modesto acelerador, el "Kevatrón", de una tensión máxima de aceleración de unos 300 kV. Tiene una fuente de iones de radiofrecuencia que nos ha provisto de haces de H^+ , D^+ , H_2^+ , He^+ , He^{++} , usados hasta el presente. El Kevatrón nos ha servido fielmente durante 23 años. Para ampliar el rango disponible hacia energías menores, se construyó el hermano menor del Kevatrón, el "Kevatrito", que trabajó inicialmente en el rango desde unos 10 hasta 60 kV, extendido posteriormente hasta 100 kV.

Las primeras mediciones realizadas fueron de fracciones de equilibrio de carga de haces de He en blancos gaseosos (He , H_2 , N_2 , Ne , Ar) en el rango de energías desde 60 hasta 840 keV (1). Llama la atención la excelente concordancia con mediciones hechas en Oak Ridge por el grupo de C.F. Barnett. Interesa mencionar el método usado para independizar la detección de las componentes del haz, separadas magnéticamente, de su carga; se logró usando una lámina frente al detector en la cual estas componentes se equilibraron nuevamente. Con un sistema experimental equivalente se hicieron mediciones de fracciones de carga usando las 4 combinaciones posibles de proyectiles de H^+ y D^+ , y blancos de H_2 y D_2 (2). Contrariamente a una evidencia previa (3) no se vió ninguna evidencia de un efecto isotópico en los procesos de cambio de carga. De nuevo hay una concordancia asombrosa con resultados ($H^+ - H_2$) obtenidos en Oak Ridge.

Para verificar una posible transición al equilibrio de carga en función del espesor de penetración en sólidos se construyó un equipo de medición de retrodispersión (H^+ , He^+) con análisis en energía de alta resolución usando un analizador electrostático.

Resultó así una resolución en profundidad en el blanco menor que 20 A° . (4) Dentro de este espesor las mediciones realizadas no permitieron detectar una transición al equilibrio de carga.

Usando un analizador de características similares se hicieron mediciones de poderes de frenamiento de protones en blancos metálicos distribuidos a lo largo de la tabla periódica de los elementos, observándose una periodicidad en función del número atómico, correlacionada con el llenado de capas electrónicas. (5) La fabricación de láminas ultradelgadas, usadas como blancos, obedece a un método original. (6) Estudios del frenamiento electrónico de proyectiles iónicos prosiguieron, usando este equipo. Resultados recientes se presentan en este encuentro (Lantschner).

Un primer estudio de la emisión de electrones secundarios, inducida por colisiones atómicas, se refiere a la medición simultánea de emisión secundaria cinética desde las dos caras de láminas sólidas atravesadas por un haz de protones. Se realizó un análisis en energía de los electrones por el método del potencial retardador. (7) Resultó una preferente emisión hacia adelante, desde la cara "rio abajo" de la lámina, que se hace muy notable a energías electrónicas mayores. A partir de las distribuciones medidas se concluye que a estas energías domina la emisión inducida por colisiones binarias con los electrones libres del sólido.

Se diseñó y construyó un equipo que permite la medición de distribuciones doblemente diferenciales de electrones en función de su energía y ángulo de emisión con respecto a la dirección del haz de proyectiles iónicos u atómicos. (8) Consiste en un espectrómetro coaxial cilíndrico. El blanco, gaseoso o de lámina sólida, fácilmente intercambiable, se encuentra en el foco objeto, sobre el eje.

Los electrones analizados por deflexión electrostática se enfocan de nuevo sobre este eje, donde se define el haz analizado por un diafragma, que sirve como vértice para el cono de aceptación angular definido a la salida de los electrones por uno de seis diafragmas, a elegir. De esta forma se permite la toma de espectros en función del ángulo de emisión electrónica sin interceptar el haz de proyectiles. Una reproducción de este equipo fue realizada en el Depto. de Física de la Universidad de Georgia, USA. Además ha servido como base para el diseño de un espectrómetro de electrones a describirse por de Ferrariis en este encuentro.

Usando este equipo se realizó en primera instancia un estudio de distribuciones de electrones convoy, medidas en dirección del haz iónico, producidos por captura de electrones al continuo de protones (H^+) en colisiones únicas con átomos de He (9). Se discuten detalladamente asimetrías de las cúspides de electrones convoy medidas en términos de un desarrollo multipolar de la sección eficaz doblemente diferencial.

Una investigación similar se efectuó con electrones convoy emitidos al interactuar un haz de protones con láminas de carbono (10). No aparece la fuerte asimetría de las cúspides medidas, hacia energías o velocidades menores, como es característica para el proceso de captura al continuo ($H^+ - He$). Los espectros de electrones convoy, emitidos del sólido, se parecen más a los que en colisiones únicas son debidos a un proceso de pérdida al continuo, producido por una simple ionización de un proyectil que trae un electrón a la colisión (9,10). Sin embargo, mediciones hechas a diferentes ángulos, desde cero hasta $\pm 60^\circ$, demuestran que las distribuciones de electrones emitidos en procesos del tipo haz-lámina no ponen en evidencia la propagación del pico de electrones convoy sobre una esfera de radio v_i para todos los ángulos, típica para la ionización del proyectil por una colisión binaria (11).

Haciendo una serie de mediciones de espectros de electrones convoy a distintos ángulos cercanos a la dirección del haz, nuestro equipo permitió la primera obtención experimental de distribuciones doblemente diferenciales de estos electrones en función de la energía y el ángulo de emisión, las cuales, transformadas al espacio de la velocidad electrónica v_e , permiten la discusión de estructuras características para los procesos de captura y pérdida al continuo (10,12,13,14). Para esta evaluación se usaron líneas de nivel a diferentes alturas de los picos tridimensionales medidos y su fiteo con el desarrollo multipolar de la sección eficaz. En tales distribuciones, incluyendo las resultantes de la interacción del tipo haz-lámina sólida, se observa un primer indicio de una estructura de cresta (15) alineada con la dirección del haz iónico, sobre la cual se relatará en otra presentación de este encuentro (11).

Se realizó un estudio de un efecto molecular en la forma de los picos de electrones convoy obtenidos al interactuar proyectiles de H^+ o de H_2^+ de igual velocidad con láminas de carbono de distintos

espesores. Se demuestra que dos protones correlacionados, productos de la disociación molecular, son más efectivos que dos protones independientes para producir la transferencia de electrones al continuo (16). Este efecto fué confirmado por mediciones hechas en el Instituto de Física Nuclear de la Universidad de Frankfurt, Alemania (17).

Mediciones de electrones convoy producidos al incidir proyectiles de H^+ y D^+ en láminas fueron realizadas en coincidencia con las componentes cargada y neutra (H^0, D^0) del haz emergente. Se detectó una señal apreciable de electrones convoy que acompañan a los proyectiles neutros (18), efecto que puede interpretarse en términos de una comparación de la longitud de penetración electrónica con el espesor de producción del equilibrio de carga (ref.4) en el sólido.

No hay duda sobre la concordancia de las velocidades o sea energías equivalentes, iónica y de electrones convoy emitidos en colisiones únicas. Este hecho se aprovechó para realizar una medición diferencial de la energía de electrones convoy, emitidos de láminas sólidas, comparada con la equivalente de los iones emergentes. Poniendo un analizador de iones (ref.4) a continuación del espectrómetro de electrones se verificó que dentro de un margen de unos 0.3 eV la energía equivalente iónica coincide con la de la cúspide de los electrones convoy, lo cual demuestra que dichos electrones emergen del sólido sin ser retrasados en la barrera de potencial de la superficie (19). Correspondientemente, con un equipo que permite el control de la limpieza de superficies sólidas se comprobó que un cambio del potencial de superficie no genera un corrimiento de la energía de los electrones convoy, observándose por otra parte una influencia muy fuerte en el rendimiento de su emisión (20).

Referencias:

- (1) W. Meckbach, I.E. Nemirovsky, Phys Rev. 153 13 (1967)
P. Torres, W. Meckbach, A. Valenzuela, Phys. Rev. 183 216 (1969)
- (2) E.R. Salvatelli, G. Lantschner, W. Meckbach, J.Phys B2 772 (1969)
- (3) O. Hollricher, Z. Phys. 187 41 (1965)
- (4) P. Focke, Informe no publicado, (1982)
- (5) A. Valenzuela, J.C. Eckardt, W. Meckbach, A.J. Kestelman
Phys. Rev. B6 95 (1972)

- (6) W. Meckbach, Rev. Sci. Instr. 34 188 (1963)
A. Valenzuela, J.C. Eckardt, Rev. Sci. Instr. 42 127 (1971)
- (7) W. Meckbach, G. Braunstein, N. Arista, J. Phys. B8 L344 (1975)
W. Meckbach, Beam Foil Spectroscopy, Vol.2, 577 Plenum (1976)
- (8) W. Meckbach, I.B. Nemirovsky, C.R. Garibotti, Phys.Rev. A24 1793 (1981)
- (9) V.H. Ponce, W. Meckbach, Comments At. Mol. Phys. 10 231 (1981)
P. Focke, W. Meckbach, C.R. Garibotti, I.B. Nemirovsky, Phys. Rev. A28 706 (1983)
- (10) P. Focke, I.B. Nemirovsky, E. Gonzalez Lepera, W. Meckbach, I.A. Sellin, K.O. Groeneveld, Nucl. Instr. Meth. B2 235 (1984)
- (11) A.R. Goñi, W. Meckbach, S. Suarez, P.R. Focke, G.C. Bernardi, Z. Physik D3 (1986)
- (12) W. Meckbach, R. Vidal, P. Focke, I.B. Nemirovsky, E. Gonzalez Lepera, Phys. Rev. Lett. 52 621 (1984)
- (13) K.O. Groeneveld, W. Meckbach, I.A. Sellin, J. Burqdörfer, Comments At. Mol. Phys. 4 187 (1984)
- (14) G. C. Bernardi, P. Focke, R.O. Barrachina, A.E. Ceballos, W. Meckbach, a publicarse.
- (15) P.R. Focke, W. Meckbach, I.B. Nemirovsky, G.C. Bernardi, Nucl. Instr. Meth. (1986)
- (16) V.H. Ponce E. Gonzalez Lepera, W. Meckbach, I.B. Nemirovsky, Phys. Rev. Lett. 47 572 (1981)
- (17) R. Latz, J. Schader, H.J. Frischkorn, P. Koschar, D. Hofmann, K.O. Groeneveld, W. Meckbach, Nucl. Instr. Meth. B2 265 (1984)
- (18) M.G. Menendez, M.M. Duncan, S.D. Berry, I.A. Sellin, W. Meckbach, P. Focke, I.B. Nemirovsky, Phys. Rev. A33 2160 (1986)
- (19) S. Suarez, A. Goñi, P. Focke, W. Meckbach, I.B. Nemirovsky, E. Gonzalez Lepera, a publicarse.
- (20) L. de Ferrariis, E. Sanchez, resultados recientes.