

25 años

00.81.13 (p. 25-32)
07.81.02 (p. 33-39)
06.81.23 (p. 41-45)
06.81.24 (p. 47-50)
00.81.14 (p. 51-55)
02.81.06 (p. 57-63)
02.81.07 (p. 67-74)

ACTAS de las Jornadas
Conmemorativas de los 25
años del Sincrociclotrón y
del Comienzo de las Obras
para el Emplazamiento del
Acelerador TANDAR

Diciembre 1979

00.81.15 (p. 75-85)
02.81.08 (p. 87-93)
02.81.09 (p. 95-101)

COMISION NACIONAL
DE
ENERGIA ATOMICA
DEPARTAMENTO
DE FISICA
BUENOS AIRES
ARGENTINA

RG

061.3: 621.384.6(82)

J769

1979

02.81.06

p. 57-63

DIPROTON O ^2He DIECISEIS AÑOS DESPUES

Lodolfo

Dr. R. J. Slobodrian

El Dr. Slobodrian es egresado de la Universidad de Buenos Aires. Se desempeñó como Jefe del Laboratorio del Sincrociclotrón durante la ausencia del Dr. Mayo. Sus contribuciones científicas realizadas en el Sincrociclotrón incluyen estudios de dispersión elástica e inelástica de deuterones sobre diversos blancos. De particular importancia es su trabajo sobre la existencia del diprotón realizado en colaboración con el Dr. Bilaniuk. Se especializó, hacia fines de la década del 50 en Berkeley, EE.UU. lugar al que volvió en 1963. Actualmente es investigador y profesor en la Universidad de Laval, Canadá.

En 1962 el laboratorio del Sincrociclotrón se encontraba en plena producción científica en el área de la difusión y de las reacciones nucleares inducidas por el haz de deuterones de 28 MeV. Este último y los equipos auxiliares necesarios fueron desarrollados hacia fines de la década de 1950. Los trabajos realizados utilizando el haz externo arrancan con una publicación sobre la función de excitación de la reacción $^{27}\text{Al}(d, \alpha p)^{24}\text{Na}$,¹⁾ que fue seguida por otras, de interés creciente y que sería largo de enumerar.

Entre los temas abordados se encontraba la medición de la sección eficaz diferencial de la difusión elástica $^2\text{H} - ^4\text{He}$ en función de la energía²⁾. La variación de energía del haz incidente se logró mediante la degradación causada por espesores de aluminio. Recibimos en esa época la visita de científicos atraídos por el apogeo de la investigación en física nuclear. Uno de los visitantes, el Dr. Bilaniuk, sugirió la medición de la sección eficaz de la difusión elástica $^2\text{H} - ^3\text{He}$, por analogía a las mediciones en curso mencionadas arriba. Bilaniuk se ocupó de hacer venir un bulbo de ^3He . Este gas, como es sabido, es producido artificialmente. Es un producto de la desintegración del tritio y en esa época tuvo que gestionar un permiso especial del gobierno Norteamericano para hacerlo venir.

El estudio de las reacciones posibles con un haz de deuterones mostró que una de ellas era $^3\text{He}(d, ^3\text{H})^2\text{He}$, bien que en la literatura corriente se aclaraba que el diprotón, o ^2He , no existía³⁾. Tal afirmación, claro está, no iba a arredrar a nadie en Buenos Aires. Decidimos realizar una experiencia destinada a detectar los tritones. Era también evidente que, dado el valor de Q de la reacción ($= -1.46$ MeV), sería difícil detectar los tritones en presencia de los deuterones, extremadamente abundantes, difundidos elásticamente. Por lo tanto construimos un dipolo magnético, cuyo objeto fue producir una separación suficiente de los deuterones y permitir la detección de los tritones con cristales delgados de ICs, montados sobre fotomultiplicadores. Los detalles de este trabajo se encuentran en el informe de CNEA N° 96⁴⁾. El diprotón a pesar de "no existir" se manifestó por un imponente pico en el espectro de tritones^{4,5)}. Este descubrimiento causó una gran euforia y predijimos correctamente que la reacción especular $^3\text{H}(d, ^3\text{He})^2\text{n}$, produciendo picos debidos al dineutrón, permitiría la determinación de la interacción nuclear de dos neutrones, imposible de ser estudiada por colisión directa en la época, y aún hoy.

Nuestros resultados causaron desazón a grupos que se encontraban sobre la misma pista en diversos lugares del mundo, entre otros, el laboratorio de Los Alamos en Estados Unidos y el laboratorio Kurchatov en la Unión Soviética. En Los Alamos habían, en efecto, medido espectros de ^3He de la reacción más arriba mencionada, sin una interpretación concluyente⁶⁾. El estudio de $^3\text{He}(d, ^3\text{H})^2\text{He}$ se encontraba en progreso⁷⁾ cuando fueron

anunciados y publicados los resultados de Buenos Aires. El laboratorio Kurchatov estuvo embarcado sobre todo en experiencias destinadas a determinar la interacción neutrón-neutrón a partir de la reacción ${}^2\text{H}(n,p){}^2\text{n}$ ⁸), la cual dió lugar a parámetros erróneos para la interacción n-n, como fue demostrado en última instancia, a causa de problemas debidos a la interpretación).

Nuestros propios trabajos continuaron, según el plan trazado, en el laboratorio del ciclotrón isócrono de la Universidad de California en Berkeley ^{10,11}). La culminación fue una determinación muy precisa de la interacción neutrón-neutrón en el estado ${}^1\text{S}_0$ ¹²). El método utilizado consistía en la comparación de las interacciones diprotón y dineutrón, de manera que la interpretación teórica de los picos era esencialmente independiente del modelo. Los detalles pueden consultarse en la literatura especializada, sobre todo en los artículos de revisión ^{13,14}). Estos trabajos permitieron establecer definitivamente la simetría de las fuerzas entre nucleones en el estado ${}^1\text{S}_0$ con respecto a la carga eléctrica (simetría de iso-spin o simetría de carga). Este campo continua aún abierto para los estados de impulsión angular superior a cero.

Estudios similares mostraron, como era de esperar, que el estado ${}^1\text{S}_0$ del sistema n-p también da lugar a picos ¹⁵). Frecuentemente se alude a estos picos como debidos al "deuterón singlete", para distinguirlos del deuterón estable, predominantemente un estado triplete ${}^3\text{S}_1$. De este modo obtenemos una imagen clara de la interacción nuclear entre nucleones en el estado ${}^1\text{S}_0$: Ella da lugar a un triplete de spin isobárico ($T=1$, $T_z = +1, 0, -1$), tal que hay simetría con respecto a la reflexión $T_z = +1$ a $T_z = -1$, pero no independencia de carga, pues el estado $T_z = 0$ da lugar a parámetros de la interacción ${}^1\text{S}_0$ algo diferentes. Utilizando el lenguaje propio a una formulación de las interacciones nucleares en términos de los elementos de la matriz S (introducida por Heisenberg), el triplete de spin isobárico dinucleón (estados ${}^1\text{S}_0$ en spin ordinario) corresponde a polos en la segunda hoja de Riemann de la superficie de la energía en el plano complejo, situados sobre valores negativos de la abscisa de las energías. Utilizando la jerga de los físicos son estados "antiligados"; los estados ordinarios, ligados, se encuentran en la primera hoja de Riemann. Físicamente se manifiestan por picos cuya forma espectral puede representarse analíticamente ^{14,16}). Frecuentemente no obstante los picos exhiben distorsiones que los tornan sumamente interesantes, pues indican interacciones suplementarias, sea debido al mecanismo de reacción, sea por la presencia de tres (o más) partículas en la etapa final de una reacción. En el laboratorio de física nuclear de la Université Laval poseemos un ambicioso programa que creemos nos permite una observación directa de fuerzas a tres cuerpos. Es bien sabido que se supone que una fracción no despreciable de la energía de ligadura de ${}^3\text{He}$ y ${}^3\text{H}$ es debida a tales fuerzas ¹⁷). Hemos estudiado muy recientemente la ruptura del deuterón a energías muy próximas al umbral.

La idea es simple, si los productos de la ruptura poseen energías cinéticas pequeñas, el tiempo de interacción en la vía de salida es grande y permitirá los procesos de intercambio de dos piones, los cuales constituyen la contribución principal a las fuerzas de tres cuerpos¹⁸). La experiencia consiste en detectarlos protones en correlación utilizando circuitos de coincidencia de resolución de 1 nanosegundo. La figura que acompañamos muestra resultados obtenidos que permiten notar claramente desviaciones con respecto a correlaciones estocásticas (espacio de las fases), así como respecto a las interacciones de dos cuerpos. Hay una predominancia de las particiones de energía simétricas, es decir, tales que $E_{p1} = E_{p2}$ (energías de los protones.). El tratamiento teórico exacto de la reacción no es aún posible, a causa de la presencia del campo culombiano en un sistema de tres cuerpos. No obstante, la predominancia de las particiones simétricas de energía, parece indicar la presencia de procesos de intercambio de dos piones entre el neutrón y los dos protones, o sea una observación directa de fuerzas de tres cuerpos.

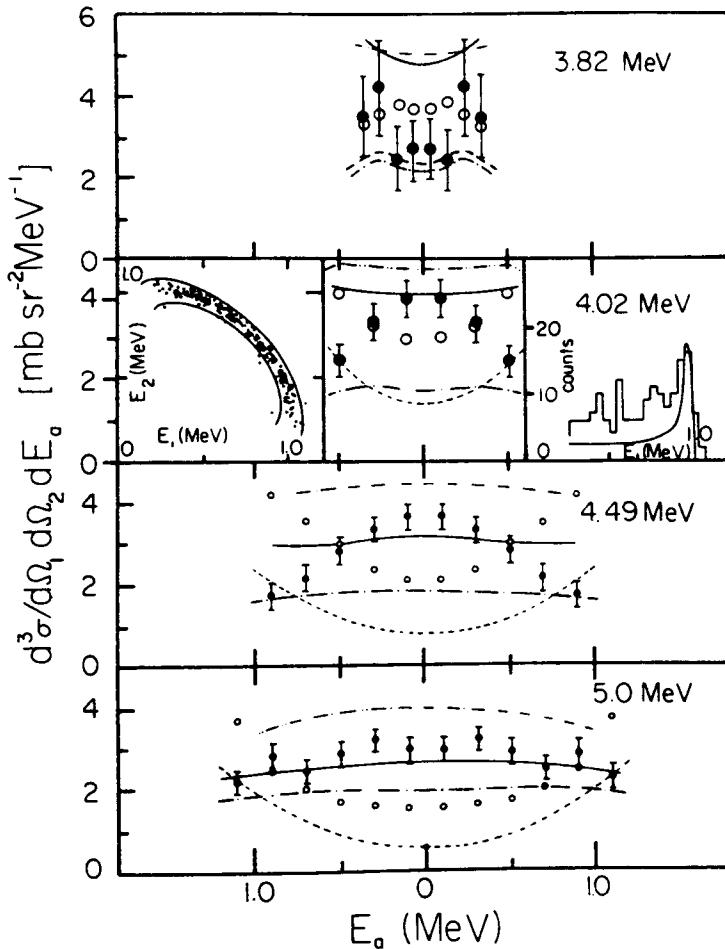
En la actualidad buen número de trabajos citan el diprotón a ^2He en sus títulos. Muy recientemente se ha publicado uno sobre la reacción de intercambio de carga ($^2\text{H}, ^2\text{He}$)¹⁹), poniendo de relieve su interés para identificar las transiciones que proceden por inversión de spin, contrariamente a las reacciones (n,p), las cuales pueden proceder con o sin inversión de spin.

Para terminar deseo rendir homenaje a todos aquellos que han contribuido al éxito de la investigación con el sincrociclotrón de Buenos Aires.

Frecuentemente los ciclotrones clásicos y los sincrociclotrones, son convertidos en ciclotrones isocronos de energía variable y continúan prestando servicios inestimables a la comunidad científica. Esperemos que, de un modo u otro, el sincrociclotrón de Buenos Aires continúe siendo útil a la ciencia.

Bibliografía

- 1) P.A.Lenk y R.J.Slobodrian, Phys.Rev. 116 (1959) 1229.
- 2) H.J.Erramuspe, R.J.Slobodrian, Nucl. Phys. 49 (1963) 65.
- 3) Por ejemplo: ver The Atomic Nucleus, Robley D. Evans, McGraw-Hill, New York (1955).
- 4) O.M.Bilaniuk y R.J.Slobodrian, CNEA, Informe N° 96, Buenos Aires (1963).
- 5) O.M.Bilaniuk y R.J.Slobodrian, Phys. Lett. 7 (1963) 77.
- 6) J.E.Brolley, W.S.Hall, L.Rosen y L.Stewart, Phys. Rev. 109 (1958) 1227.
- 7) M.Jakobson, J.M.Manley y R.H.Stokes, Nucl. Phys. 70 (1965) 97.
- 8) V.K.Voitveskii, I.L.Korsunskii y Yu.F.Pazhin, Nucl. Phys. 69 (1965) 513.
- 9) R.J.Slobodrian, H.E.Conzett y F.Resmini, Phys. Lett. 27B (1968) 405.
- 10) H.E.Conzett, E.Shield, R.J.Slobodrian y S.Yamabe, Phys.Rev. Lett. 13 (1964) 625.
- 11) E.Baumgartner, H.E.Conzett, E. Shield y R.J.Slobodrian, Phys. Rev. Lett. 16 (1966) 105.
- 12) R.J.Slobodrian et al., The Three Body Problems, Editors J.S.McKee y P.M.Rolph, (Amsterdam - Londres, North Holland) (1970).
- 13) J.S.C.McKee, Rep. Prog. Phys. 33 (1970) 691.
- 14) R.J.Slobodrian, Rep. Prog. Phys. 34 (1971) 175.
- 15) T.A.Tombrello y A.D.Bacher, Phys. Lett. 17 (1965) 37.
- 16) R.J.Slobodrian et al, Phys. Lett. 25B (1967) 19.
- 17) Por ejemplo: ver L.M.Delves, Few Body Problems, Nucl. and Particle Physics, Editors R.J.Slobodrian, B.Cujec y K. Ramavataram, Les Presses de l'Université Laval, Québec(1975) 446 y siguientes.
- 18) B.H.J.McKellar, Few Body Dynamics, Editors A.N.Mitra, I. Slauss, V.S.Bhasin y V.K.Gupta, North-Holland (1976) 508.
- 19) D.P.Stahel, R.Jahn, G.J.Wozniak y J.Cerny, Phys.Rev. C20 (1979) 1680.



Espectros de correlación protón-protón a $30^\circ - 30^\circ$, proyectado sobre el arco del lugar geométrico cinemático, medidos a cuatro energías cinéticas del laboratorio en la vía de entrada, correspondientes a energías cinéticas totales CM en la vía de salida entre 0.31 y 1.1 MeV. Las líneas sólidas y los guiones corresponden a las predicciones sobre la base de las interacciones p-p y n-p respectivamente. Las circunferencias han sido obtenidas mediante la suma incoherente de las contribuciones p-p y n-p. Los datos experimentales son mostrados en detalle a 4.02 MeV, los puntos más intensos corresponden a eventos múltiples. La proyección sobre el eje E también está representada, incluyendo la curva teórica del espacio de las fases. Es evidente que esta proyección es menos adecuada que la proyección sobre el arco. Las líneas de punto guión corresponden al espacio de las fases y las de doble punto guión representan el proceso así llamado de difusión casi libre, estas líneas se distinguen muy poco de las curvas correspondientes a la interacción p-p.

