

REPUBLICA ARGENTINA

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

INFORME N.º 55

Dispersión elástica e inelástica de deuterones de 27,6 Mev por Ni

por

S. MAYO y J. ROSENBLATT

=

BUENOS AIRES

1961

Nº 1513

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

INFORME N.º 55

Dispersión elástica e inelástica de deuterones de 27,6 Mev por Ni

por

S. MAYO y J. ROSENBLATT

BUENOS AIRES

1961

DISPERSION ELASTICA E INELASTICA DE DEUTERONES DE 27,6 Mev POR Ni

S. MAYO y J. ROSENBLATT

ABSTRACT

Elastic and inelastic differential cross-sections in Ni (dd) Ni with 27,6 Mev deuterons had been measured with aid of scintillation technique.

Charged particle spectra from the above reaction had been observed at laboratory angles between 15 and 100 degrees in steps of 5 degrees and every 10 up to 150 degrees, showing the presence of Q-positive stripping protons and elastic and inelastic deuteron groups.

Due to isotopic mixture in natural Ni and the rather high level density above 2 Mev of excitation in most of those isotopes only inelastic deuteron groups going to the first excited states in Ni^{58} and Ni^{60} could be identified.

Stripping proton groups could not be measured due to poor resolution and statistics.

Elastic angular distribution exhibits similarities to that obtained by Yntema at 21,6 Mev, showing the typical diffraction patterns. At backward angles we observed a slight growing in the cross-section not observed at 21,6 Mev.

By regarding the elastic scattering like a classical light diffraction by a black disk it turns out an interaction radius of $6,8 \pm 0,8$ f.

Inelastic angular distributions were fitted by semiclassical Butler et al. theory and Huby - Newns theory. Due to above mentioned limitations it could not be avoided the level mixtures; however a group of deuterons going to Ni^{58} 1,45 Mev, probably mixed with Ni^{60} 1,33 Mev could be identified as proceeding via direct interaction with $l = 2$ and interaction radius 6,7 f and 6,9 f respectively.

Another inelastic group identified as Ni^{58} 2,46 Mev mixed with Ni^{60} 2,50 Mev is well fitted by $l = 2$ plus $l = 4$ and interaction radius 8,9 f and 8,7 f respectively, showing direct interaction behaviour.

Contributions to the above processes from compound nucleus formation are small as can be seen from absolute cross-sections above 50 degrees.

Total cross-section for the formation of compound nucleus is about 860 mbarn.

According to selection rules for deuteron scattering it can be assigned 2^+ to levels 1,45 Mev and 2,46 Mev in Ni^{58} ; however this assignement is not definitive due to background from levels in Ni^{58} and Ni^{60} present at those excitation energies.

RESUMEN

Se ha medido la sección eficaz diferencial para la interacción elástica e inelástica de deuterones de 27,6 Mev con Ni, mediante la técnica de centelleo.

El espectro de partículas cargadas provenientes de las reacciones, medido en el sistema de laboratorio cada 5° entre 15° y 100° y cada 10° hasta 150° , muestra la presencia de protones con $Q > 0$ resultantes de la reacción (d, p) y de partículas cargadas con $Q \leq 0$ provenientes de la interacción de deuterones con Ni natural, a más del grupo elástico de deuterones.

Debido a la mezcla isotópica natural y a la gran densidad de niveles para la región de 2 Mev de excitación en Ni, los grupos de deuterones inelásticos que pudieron medirse con la técnica mencionada se limitan a los primeros niveles excitados de los isótopos más abundantes: Ni^{58} y Ni^{60} .

Los grupos de protones de "stripping" no pudieron ser estudiados cuantitativamente debido a la pobre estadística acumulada y a la proximidad de los distintos grupos.

La distribución angular elástica muestra gran semejanza a la obtenida por Yntema con deuterones de 21,6 Mev, exhibiendo las típicas figuras de difracción ya conocidas.

Para ángulos de dispersión hacia atrás se observa un indicio de crecimiento en la sección eficaz, desviándose del comportamiento observado a 21,6 Mev.

Considerando el proceso elástico como análogo a la difracción de luz por un disco negro, resulta un radio de interacción de $6,8 \pm 0,8$ f.

Las distribuciones inelásticas medidas fueron comparadas con las predicciones de las teorías semiclásicas de Butler y colaboradores y de Huby-Newns. Debido a las dificultades mencionadas no fue posible evitar la mezcla de niveles; sin embargo, el grupo de deuterones inelástico correspondiente a Ni^{58} 1,45 Mev, probablemente mezclado con Ni^{60} 1,33 Mev, pudo ser identificado como proveniente de un proceso de interacción directa con $l = 2$ y radio de interacción 6,7 f y 6,9 f, respectivamente, para las teorías mencionadas.

Otro grupo inelástico, identificado como Ni^{58} 2,46 Mev, mezclado con Ni^{60} 2,50 Mev, está bien descripto con $l = 2$ más $l = 4$ y radio de interacción 8,9 f y 8,7 f, respectivamente.

Las asignaciones de spin y paridad corresponden a 2^+ para Ni^{58} 1,45 Mev y Ni^{60} 1,33 Mev, mientras que aparentemente correspondería 2^+ para Ni^{58} 2,46 Mev y 4^+ para Ni^{60} 2,50 Mev.

Los procesos inelásticos estudiados muestran que proceden por vía de interacción directa principalmente, mientras que las contribuciones a los mismos por formación de núcleo compuesto son pequeñas, como puede verse por las secciones eficaces para ángulos superiores a 50° .

La sección eficaz total para la formación de núcleo compuesto en este caso es aproximadamente 860 mbarn.

En base a las reglas de selección de dispersión inelástica de deuterones, puede asignarse spin y paridad 2^+ a los niveles Ni^{58} 1,45 Mev y Ni^{58} 2,46 Mev, aunque estos resultados están afectados por la presencia de otros niveles de Ni^{58} y Ni^{60} en esa zona de excitación.

INTRODUCCION

El estudio de la dispersión elástica e inelástica por núcleos pesados ha sido extensamente realizado con partículas cargadas de distintas energías, como un medio para aclarar mecanismos de reacción y propiedades nucleares.

Empleando protones y deuterones de energías entre 3 y 30 Mev. diversos trabajos (1) fueron realizados con blancos de Ni natural o enriquecido; las distribuciones angulares elásticas muestran los característicos máximos y mínimos que corresponden a figuras de difracción que varían angularmente en forma suave con la energía del proyectil y que pueden predecirse en base al modelo óptico.

Dichos máximos y mínimos corresponden a efectos nucleares superpuestos a la dispersión de tipo coulombiano puro, produciéndose interferencias entre ambos procesos.

Sin embargo, resulta interesante observar que la posición de dichos máximos y mínimos puede ser descripta con bastante buena aproximación en términos de imágenes clásicas de difracción de luz por un disco o una esfera completamente absorbente.

Si se expresa la amplitud de dispersión elástica en serie de polinomios de Legendre y se supone que todas aquellas partículas que "caen" sobre el núcleo son absorbidas por él, resulta que para ángulos pequeños de dispersión la forma de la sección eficaz está dada por

$$\left[\frac{J_1 \left[2k \left(R + \frac{\lambda}{2\pi} \right) \sin \frac{\theta}{2} \right]}{\sin \frac{\theta}{2}} \right]^2 \quad [1]$$

que corresponde también a la difracción tipo Fraunhofer que sufre una onda plana de longitud $\lambda/2\pi = 1/k$ al interactuar con un disco (2) de radio $(R + \lambda/2\pi)$; $J_1(x)$ es la función de Bessel de orden 1; k es el número de onda del proyectil; θ es el ángulo de dispersión.

Por tanto, la variable $x = 2k (R + \lambda/2\pi) \sin \theta/2$ gobierna la forma de la distribución angular elástica. Si tomamos la diferencia angular entre dos máximos o dos mínimos sucesivos de la misma y los comparamos con la diferencia entre los valores de la variable x correspondientes a dos ceros sucesivos en $J_1(x)$, resulta la relación

$$x_i - x_{i+1} \cong \pi \cong 2k \left(R + \frac{\lambda}{2\pi} \right) \left(\sin \frac{\theta_i}{2} - \sin \frac{\theta_{i+1}}{2} \right) \quad [2]$$

permitiendo así avaluar el radio de interacción a partir de las mediciones experimentales.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El equipo usado para este trabajo fue ya descripto (3) anteriormente. El haz de deuterones magnéticamente extraído y focalizado del sincrociclotrón incide sobre el blanco en estudio colocado en el centro de una cámara de dispersión del tipo de ventanas fijas cada 5° .

El haz dispersado sale a través de dichas ventanas al aire y penetra en un detector tipo centelleo, en este caso INa (Tl), cuyo espesor está definido por el alcance de los protones de "stripping" provenientes de la reacción $\text{Ni}^{58}(\text{d}, \text{p})\text{Ni}^{59}$. Dicho cristal está montado en una guía de lucite que lo adapta a la fotomultiplicadora EMI 6097.

Los impulsos eléctricos producidos por el sistema detector son analizados por un espectrómetro unicanal, obteniéndose en conjunto una resolución en energías de alrededor de 2 %. El sistema fue calibrado, comprobándose satisfactoria estabilidad y linealidad.

Se determinó el ángulo cero de dispersión en el sistema de laboratorio tomando distribuciones angulares simétricas hacia ambos lados de la dirección de avance del haz.

La energía del haz incidente fue medida por absorción en Al, resultando un alcance medio de $597 \pm 2 \text{ mg/cm}^2$, lo que corresponde a la energía de $27,6 \pm 0,05 \text{ Mev}$ (4).

El error en la determinación de esta energía es prácticamente el error con que se conoce el alcance de deuterones en Al. La dispersión en energías del haz es menor que 0,2 % (5).

El espesor de los blancos utilizados fue determinado por pesada y medición de superficies con un comparador óptico. Los blancos consistían en hojas de Ni de espesor satisfactoriamente uniforme de unos 5 cm^2 de superficie. Se emplearon dos blancos distintos, de 6,87 y $11,77 \text{ mg/cm}^2$, respectivamente, medidos con error menor que 0,5 %.

El ángulo sólido del sistema detector fue calculado por la geometría de la cámara y del detector; la ventana de admisión al centelleador es de 5 mm de diámetro. El ángulo sólido resulta $1,80 \times 10^{-4}$ sterradian. El error en esta determinación es de 1 %. El ángulo de dispersión está bien definido por la posición de las ventanas fijas a la cámara; frente a éstas se coloca el detector provisto de un colimador que ajusta sobre las mismas y asegura la dirección radial del detector. La apertura angular de éste es $0,8^\circ$.

Las mediciones de las secciones eficaces inelásticas están afectadas de mayor error que en el caso elástico, debido principalmente al descuento de fondos. En cada punto experimentalmente medido se han indicado los errores cometidos.

Se midió el espectro de partículas cargadas cada 5° entre 15° y 100° y cada 10° hasta 150° para distintos espesores de absorbente colocado frente al detector; el blanco fue orientado en cada caso para obtener óptima resolución (6); la máxima inclinación usada fue 45° respecto de la dirección del haz incidente. En cada espectro se acumuló suficiente contaje como para reducir al mínimo posible el error estadístico compatible con las limitaciones en el tiempo de uso del acelerador.

MEDICIONES

La figura 1 muestra un espectro típico de interacción de deuterones de 27,6 Mev con Ni natural, medido con suficiente absorbente delante del detector para optimizar la separación de los distintos grupos de partículas. Puede verse el grupo prominente de deuterones elásticamente dispersados y los grupos de protones de "stripping" con $Q > 0$ que conducen a los diversos estados posibles de los isótopos

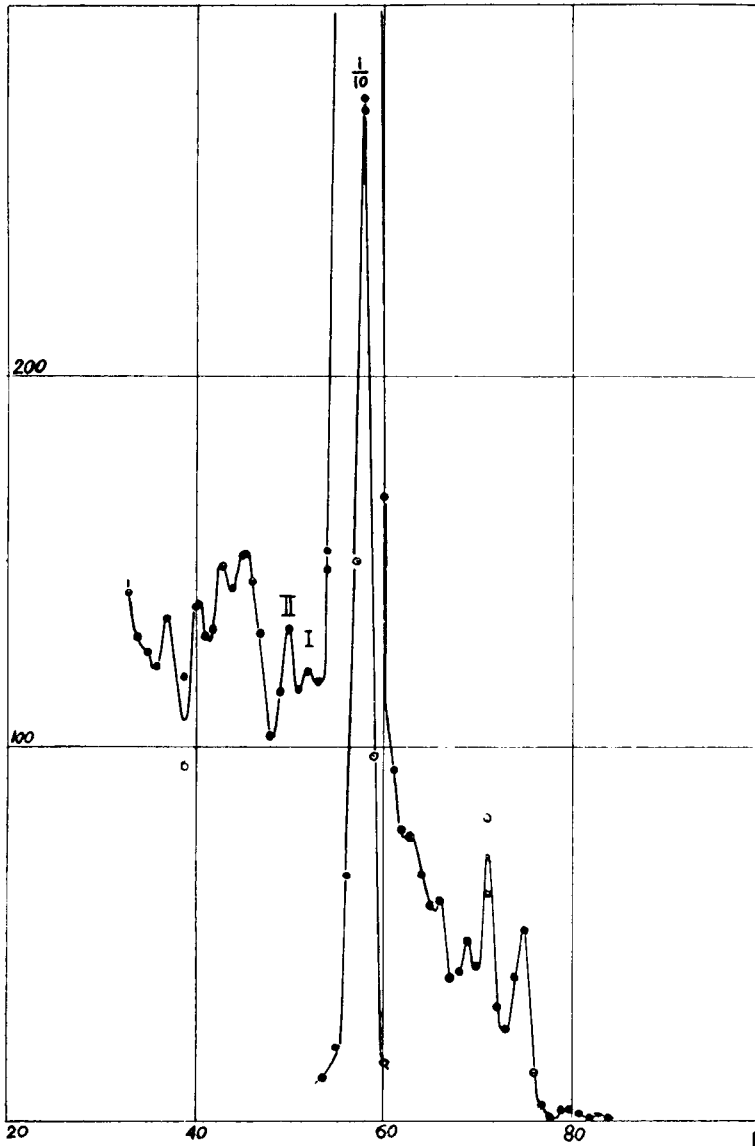


FIG. 1. — Espectro de partículas cargadas provenientes de la interacción Ni (d, d) Ni medido a 25° respecto de la dirección de incidencia del proyectil, con un centelleador de I Na (Tl) interponiendo 241 mg/cm^2 de Al frente al detector.

En el eje vertical se representa el número de eventos detectado por cada $0,204 \mu\text{C}$ de corriente integrada del haz incidente. En el eje horizontal se representa la altura del pulso analizado en volts.

presentes en el blanco. Dichos grupos no han sido estudiados debido a la pequeña sección eficaz que presentan, sumada a las dificultades de una pobre resolución.

Los grupos indicados I y II corresponden a deuterones inelásticamente dispersados por los isótopos Ni^{58} y Ni^{60} , que son los más abundantes en la mezcla natural. Dichos procesos conducen a los estados Ni^{58} 1,45 Mev y Ni^{60} 1,33 Mev, por un lado, y Ni^{58} 2,46 Mev y Ni^{60} 2,50 Mev, respectivamente.

La tabla I reproduce los valores de la sección eficaz diferencial elástica; la figura 2 muestra la relación de dicha sección eficaz a la

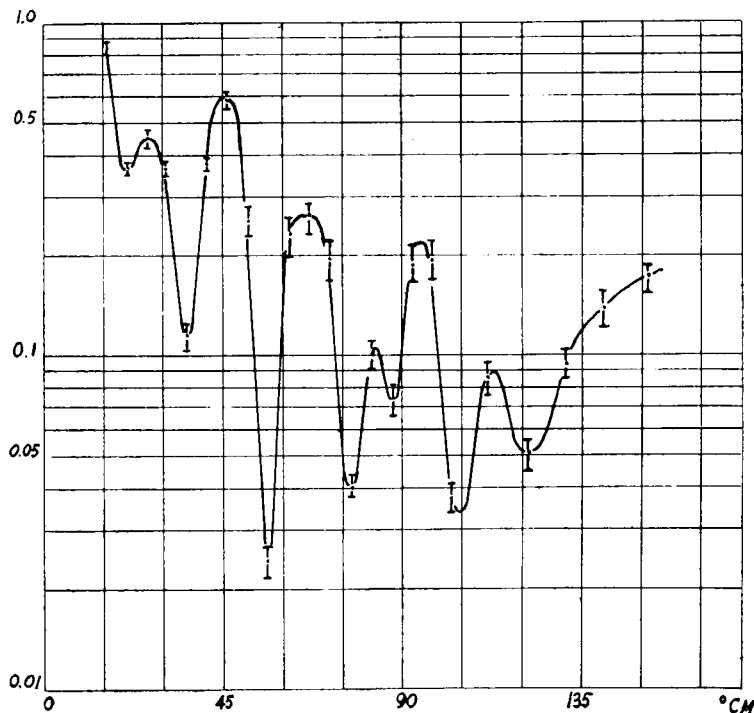


FIG. 2

— Relación $(d\sigma/d\Omega)$ experimental / $(d\sigma/d\Omega)$ Rutherford para $\text{Ni}(d,d)\text{Ni}$,
Medidas experimentales.

de Rutherford, que reproduce a grandes rasgos el comportamiento observado por Yntema (1) a 21,6 Mev, excepto un indicio de crecimiento en la sección eficaz para ángulos hacia atrás que ya comienza a notarse por encima de 120° , análogamente al efecto observado a energías menores con deuterones (7) sobre núcleos más livianos, que podría ser atribuido a efectos de dispersión elástica compuesta.

La tabla II muestra los valores del radio de interacción en la dispersión elástica calculados en base a la [2].

Si aceptamos como valor (8) de $R_0 = 1,33$ f, para la zona del Ni resulta como radio del deuterón el valor $1,55 \pm 0,8$ f, que es pequeño frente a $\rho = h/2\pi \div (2MB)^{1/2} = 4,31$ f, calculado en base a su energía de unión, pero en acuerdo con otros trabajos de dispersión elástica de deuterones de 24 Mev (9).

La sección eficaz total para la formación de núcleo compuesto (10) es 860 mbarn aproximadamente, lo cual muestra la predominancia de los procesos de interacción directa a esta energía.

Las figuras 3, 4, 5 y 6 muestran los acuerdos de las teorías de interacción directa semiclásica de Butler y colaboradores y de Huby-Newns, respectivamente (11). Para el grupo I los acuerdos son suficientemente buenos para la posición angular de los primeros máximos y los primeros mínimos; los picos subsidiarios han sido "lavados" presumiblemente debido a efectos de absorción en el volumen nuclear, junto a posibles interferencias entre las secciones eficaces de cada uno de los procesos que componen la mezcla.

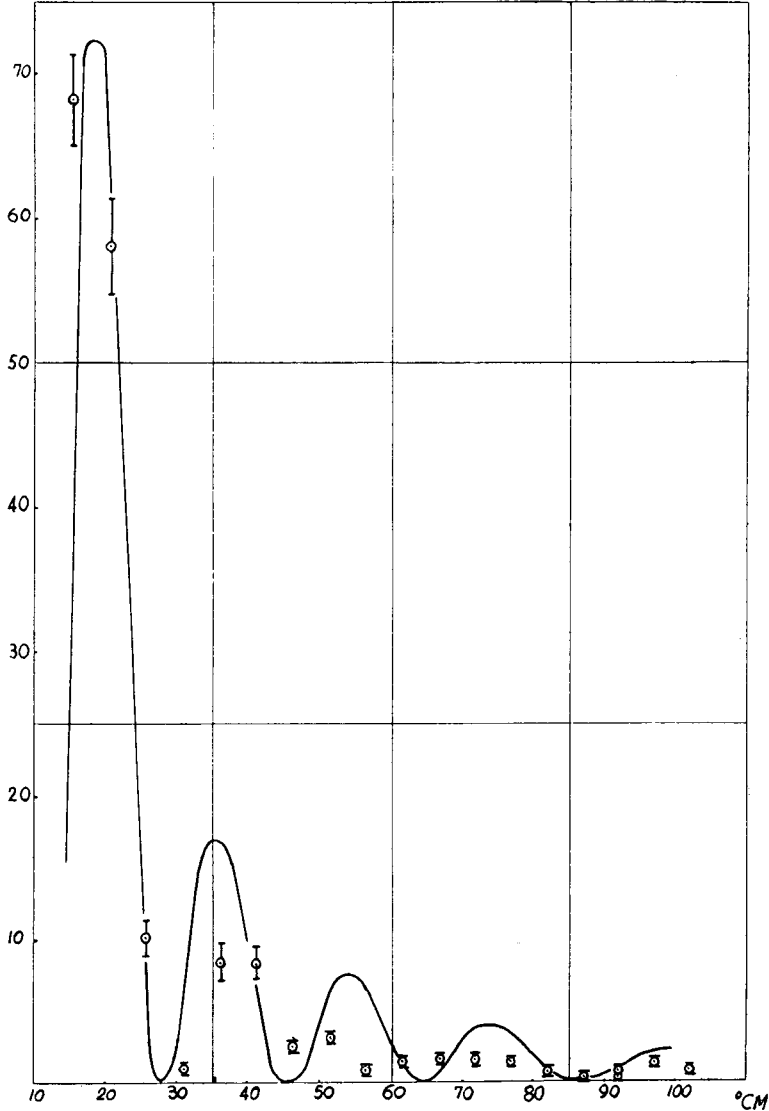


FIG. 3.— Sección eficaz diferencial inelástica correspondiente al grupo I en el sistema de centro de masa.

—— Teoría de Butler-Austern-Pearson: $l = 2$. $R = 6,7$ f.

○ $d\sigma/d\Omega$ medidas en mb/sterrad.

El impulso angular de la partícula que interactúa en este caso es $l = 2$, como resulta del mejor ajuste con las teorías mencionadas.

Si suponemos que este proceso inelástico es del tipo de interacción directa, en la superficie nuclear la regla de selección a aplicar es (12)

$$|J_f - J_0| \leq l \leq J_f + J_0$$

donde para el presente caso, siendo el spin del estado inicial $J_0 = 0$, resulta $J_f = 2$ como el único valor posible.

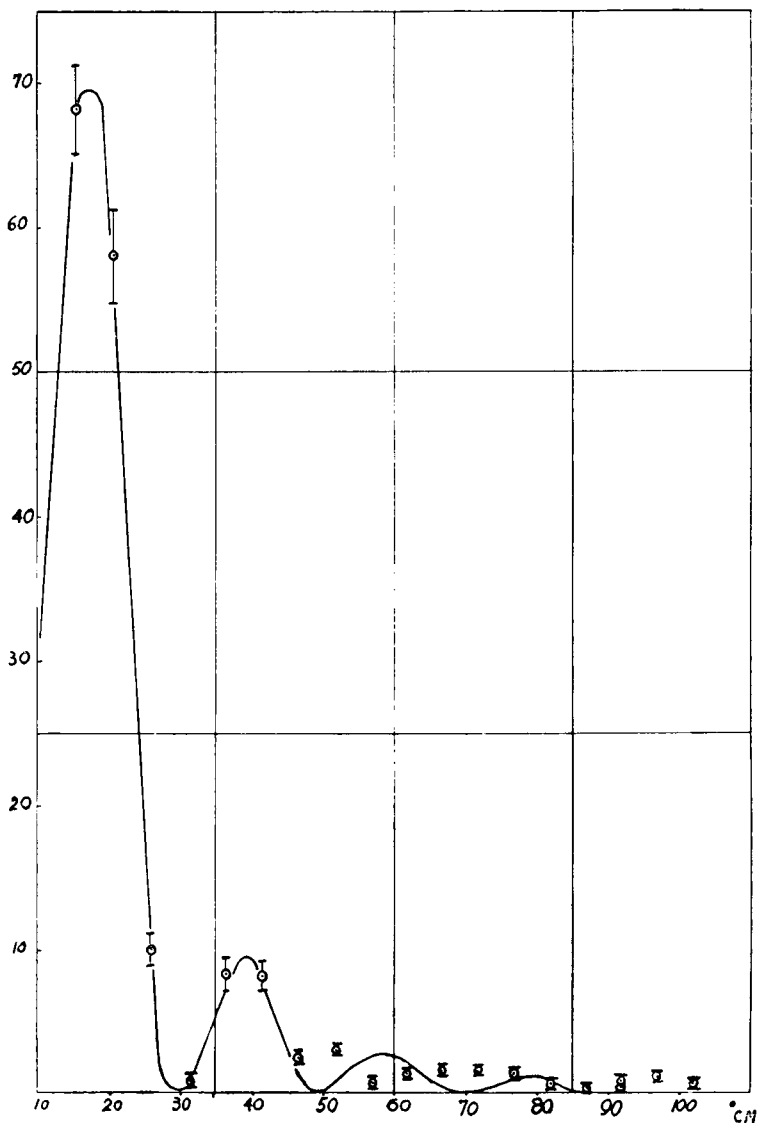


FIG. 4. — Sección eficaz diferencial inelástica correspondiente al grupo I en el sistema de centro de masa.

$\frac{1}{4\pi} \frac{d\sigma}{d\Omega}$ medidas en mb/sterrad.

— Teoría de Huby-Newns: $l = 2$, $R = 6,9 f$.

Si, en cambio, suponemos que este proceso inelástico es de interacción directa, en el volumen nuclear la regla de selección a aplicar es

$$|J_f - J_0 - 1| \leq l \leq J_f + J_0 + 1$$

resultando como posibles valores para J_f : 1, 2, 3.

La sistemática de los primeros niveles excitados en núcleos par-par muestra que en la zona del Ni generalmente corresponde spin

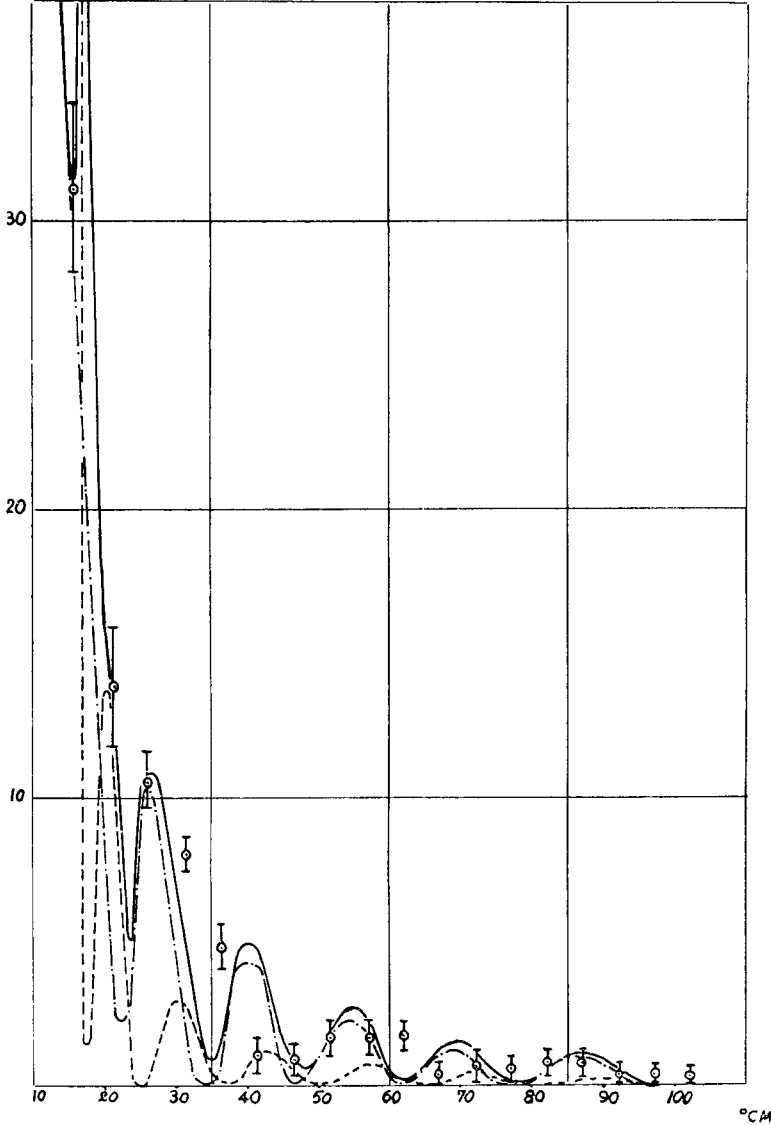


FIG. 5.— Sección eficaz diferencial inelástica correspondiente al grupo II en el sistema de centro de masa.

- $d\sigma/d\Omega$ medidas en mb/sterrad.
- Teoría de Butler-Austern-Pearson para la combinación $l=2$ y $l=4$.
- · - Contribución de la onda $l=2$.
- - - Contribución de la onda $l=4$.
- Radio de interacción: 8,9 f.

par para los niveles de paridad par, en acuerdo con una regla anteriormente conocida (13).

Puesto que la paridad de los estados correspondientes al grupo I es par ($l=2$), podemos concluir de aquí que la asignación es 2^+ para este grupo.

Mediciones anteriores (14) asignan inciertamente este spin al primer nivel excitado del Ni^{58} y con certeza al Ni^{60} 1,33 Mev. La

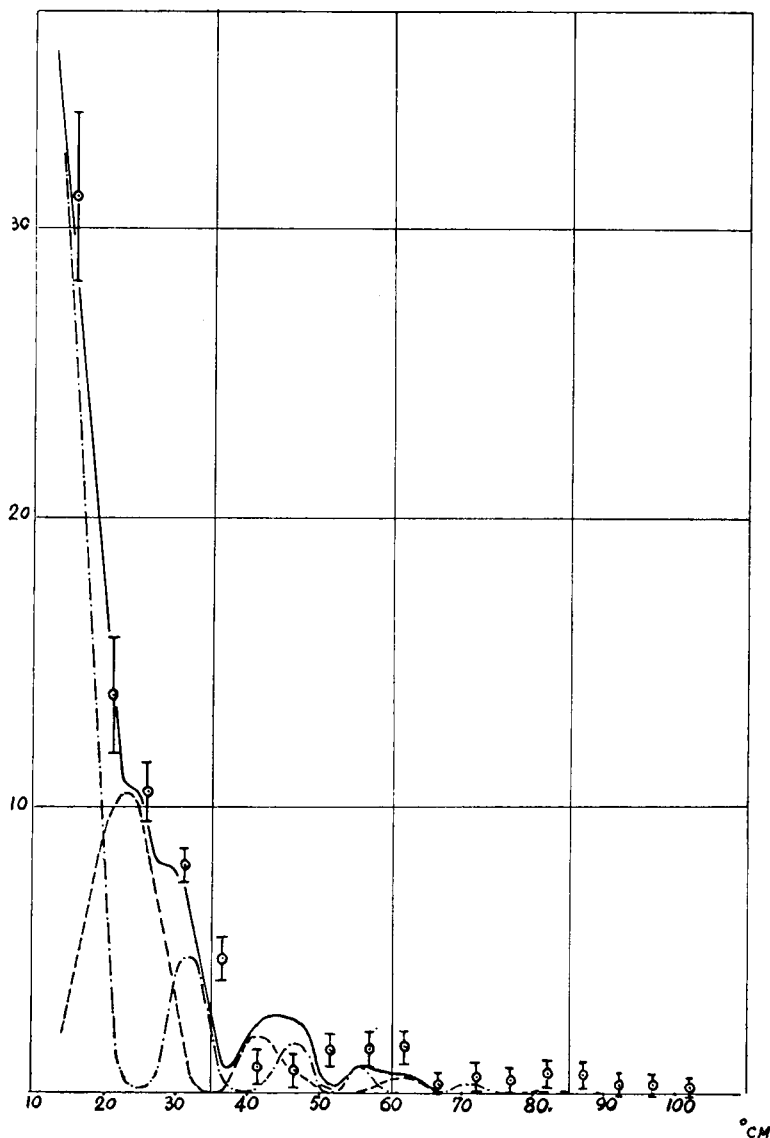


FIG. 6. — Sección eficaz diferencial inelástica correspondiente al grupo II en el sistema de centro de masa.

- $d\sigma/d\Omega$ medidas en mb/sterrad.
- Teoría de Huby-Newns para la combinación $l=2$ y $l=4$.
- - - Contribución de la onda $l=2$.
- · - Contribución de la onda $l=4$.
- Radio de interacción: 8,7 f.

diferencia entre los valores asignados al radio de interacción para ambas teorías proviene de las aproximaciones realizadas en los cálculos y no tiene mayor significación; los valores del radio obtenidos resultan razonables para la excitación y la masa de los núcleos considerados.

Puede comprobarse que el mecanismo de esta interacción es del tipo directo con un prominente pico hacia adelante en la sección eficaz diferencial; la zona entre 0 y 15° no pudo ser medida por inconvenientes mecánicos. Sin embargo, el punto medido para $\theta_{\text{Lab}} = 15^\circ$ confirma la existencia de la "zona prohibida" predicha en la teoría semiclásica.

En este caso la interacción directa predomina fuertemente sobre la formación de núcleo compuesto, favoreciéndose así la excitación de niveles de baja energía.

El grupo II presenta una distribución angular peculiar, correspondiendo a dos niveles de igual paridad y diferente spin que aparecen mezclados debido a la pobre resolución del espectrómetro empleado. La comparación con las teorías mencionadas asigna como impulso angular de las partículas que interactúan los valores $l = 2$ y $l = 4$, lo cual indica como spins de dichos niveles 2^+ y 4^+ , respectivamente, para Ni^{58} 2,46 Mev y Ni^{60} 2,50 Mev.

Sin embargo, esto no puede ser afirmado definitivamente debido al fondo de partículas provenientes de la formación de los niveles del Ni^{58} y Ni^{60} presentes en esta zona de excitación.

Puede observarse que la contribución a la sección eficaz correspondiente a $l = 4$ es, en la teoría de Huby-Newns, comparativamente pequeña frente a la contribución del proceso con $l = 2$, lo cual está en buen acuerdo con la abundancia isotópica del Ni^{58} y Ni^{60} en la mezcla natural de isótopos del Ni.

El fondo de partículas en la región de $Q = -2$ Mev probablemente es debido a grupos de deuterones dispersados por los niveles que el Ni^{60} posee en esa región, junto a las contribuciones del resto de los isótopos presentes, aunque éstas, en su conjunto, representan un pequeño porcentaje sobre el total.

Debido a estos efectos aumenta el error en la determinación de la sección eficaz diferencial correspondiente al grupo II.

El radio de interacción concuerda sensiblemente en ambas teorías para este grupo. Puede verse que el acuerdo con la experiencia sólo se logra para los primeros máximos y mínimos, presentando luego un "lavado" análogo al del grupo I. El proceso es, sin embargo, del tipo de interacción directa, predominando sobre la formación de núcleo compuesto.

CONCLUSIONES

Los resultados presentes muestran que el proceso elástico de deuterones de 27,6 Mev con Ni es análogo al producido a 21,6 Mev, y probablemente las figuras de difracción medidas varían en forma suave y continua entre esas energías.

Un efecto de crecimiento de la sección eficaz diferencial elástica para ángulos hacia atrás, que aparece a 27,6 Mev, debe ser reinvestigado con mayor detalle.

El radio de interacción obtenido asigna (para $R_0 = 1,33$ f) un radio más bien pequeño al deuterón.

Las distribuciones inelásticas medidas, si bien corresponden a grupos de partículas que provienen de la excitación de niveles pertenecientes a distintos isótopos, permiten en este caso particular asignar el spin 2^+ a los niveles 1,45 Mev y 2,46 Mev en Ni^{58} , aunque no de un modo definitivo para el segundo nivel excitado.

Las distribuciones angulares inelásticas medidas muestran claramente fuertes picos en la dirección hacia adelante, confirmando que el proceso es del tipo directo, prevaleciendo sobre el de formación de núcleo compuesto.

TABLA I
SECCIÓN EFICAZ DIFERENCIAL ELÁSTICA
Ni (d, d) Ni, $E_d = 27,6$ Mev
Angulos en sistema centro de mesa
Sección eficaz en mb/sterradian

θ_{cm}	$d\sigma/d\Omega$
15,52	3.660,0
20,69	510,1
25,85	256,9
31,0	102,0
36,15	17,9
41,29	35,6
46,42	35,4
51,54	10,4
56,64	0,7
61,74	4,8
66,82	4,2
71,88	2,4
76,94	0,4
81,98	0,77
87,0	0,48
92,01	1,0
97,0	0,76
101,98	0,13
111,88	0,27
121,74	0,13
131,54	0,2
141,29	0,25
151,0	0,28

TABLA II
Radio de interacción para dispersión elástica de deuterones
de 27,6 Mev por Ni

θ_{max} (°)	R (f)	θ_{min} (°)	R (f)
27,5	7,2	24	8,5
43,7	5,3	37,5	6,0
67,5	7,0	57,5	6,6
88	7,2	78	6,6
112		102	
Promedio: $6,8 \pm 0,8$ f			

REFERENCIAS

1. C. Hu et al.: *Jour. Phys. Soc.*, Japan, *14*, 861 (1959).
S. Kobayashi et al.: *Jour. Phys. Soc.*, Japan, *15*, 1151 (1960).
G. W. Greenlees et al.: *Proc. Roy. Soc.*, London, *A*, *243*, 206 (1957).
G. W. Greenlees - P. M. Rolph: *Proc. Phys. Soc.*, *75*, 201 (1960).
N. M. Hintz: *Phys. Rev.*, *106*, 1201 (1957).
W. W. Pratt: *Phys. Rev.*, *94*, 1086, y *95*, 1517 (1954).
C. E. McFarland et al.: *Phys. Rev.*, *89*, 892 (1953).
J. A. Harvey: *Phys. Rev.*, *81*, 353 (1951).
J. L. Yntema: *Phys. Rev.*, *113*, 261 (1959).
2. A. Bratenahl et al.: *Phys. Rev.*, *77*, 597 (1950).
3. R. J. Slobodrian: A ser publicado en CNEA.
4. H. Bichsel: *Phys. Rev.*, *112*, 1089 (1958).
5. P. A. Lenk - R. J. Slobodrian: *Rev. Sci. Instr.*, *31*, 863 (1960).
6. B. L. Cohen: *Rev. Sci. Instr.*, *30*, 415 (1959).
J. Rosenblatt: *Rev. Sci. Instr.*, *31*, 578 (1960).
7. N. Cindro - M. Cerineo: *Nuclear Physics*, *21*, 38 (1960).
8. Melkanoff et al.: *Phys. Rev.*, *106*, 793 (1957).
Glassgold et al.: *Phys. Rev.*, *107*, 1372 (1957).
9. R. G. Summers - Gill: *Phys. Rev.*, *109*, 1591 (1958).
10. J. M. Blatt - V. F. Weisskopf: *Theoretical Nuclear Physics*, New York, 1952, cap. VIII, pág. 350.
11. S. T. Butler - N. Austern - C. Pearson: *Phys. Rev.*, *112*, 1227 (1958).
R. Huby - H. C. Newns: *Phil. Mag.*, *42*, 1442 (1951).
12. S. T. Butler - O. H. Hittmair: *Nuclear Stripping Reactions*, New York, 1957, cap. XIII, pág. 122.
13. M. J. Glaubman: *Phys. Rev.*, *90*, 1000 (1953).
I. Talmi: *Phys. Rev.*, *90*, 1001 (1953).
14. *Nuclear Data Sheets*, Nat. Acad. Sci., Nat. Res. Coun.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos reconocer la valiosa colaboración prestada por los miembros del laboratorio del sincrociclotrón de CNEA durante las irradiaciones por la atención de la máquina.

Del mismo modo, a la licenciada E. Y. de Aisenberg por su ayuda en la toma de datos experimentales.

Agradecemos a la señorita H. Paolo por su colaboración en el trabajo de cálculo.

De gran interés fueron las discusiones realizadas con los doctores D. Bés, C. A. Heras, C. A. Mallmann y R. J. Slobodrian, que agradecemos.

Algunos blancos de Ni fueron facilitados por el ingeniero C. Martínez Vidal, de la División Metalurgia de CNEA.