

ESPECTROS NUCLEARES DE F^{20} , O^{17} Y O^{16} A PARTIR DE
REACCIONES (d,p) , (d,α) Y (p,α) EN F^{19} , EMPLEANDO
ENERGIAS INCIDENTES DE 1.8 MeV*

Jorge Rickards C.

Laboratorios Van de Graaff, Instituto de Física

U. N. A. M.

(Recibido: 1 abril 1960)

RESUMEN

The reactions $F^{19}(d,p)F^{20}$, $F^{19}(d,\alpha)O^{17}$ and $F^{19}(p,\alpha)O^{16}$ have been studied by bombarding F^{19} with 1.8 MeV deuterons and protons produced by a 2 MeV Van de Graaff accelerator. The particles emerging from the nuclear reactions were observed at different angles, and their energies measured through the use of a broad range magnetic spectrograph. The object of this work was originally to study angular distributions which would provide informa-

* Tesis para obtener el título de Físico en la Facultad de Ciencias. U.N.A.M.

tion about the residual nuclei angular momenta. Due principally to inadequate targets, this has not been possible; however a discussion of the results found up to the present moment seems of interest. Q values and excitation energies corresponding to different levels were determined and found to be in good agreement with values reported by other authors. In addition, two new levels were found in the F^{20} spectrum with 1.851 ± 0.004 and 3.184 ± 0.004 MeV excitation energies. For the three reactions mentioned above the following Q-values were found: 4.382 ± 0.009 , 10.059 ± 0.010 and 8.120 ± 0.006 MeV, respectively.

INTRODUCCION.

El estudio de distribuciones angulares del espectro de F^{20} , haciendo uso de reacciones de despojo (d,p) en F^{19} , fue propuesto originalmente para ser desarrollado con el acelerador Van de Graaff de 2 MeV recientemente acondicionado¹ y el espectrógrafo magnético de alta resolución y gran amplitud² del Instituto de Física, U.N.A.M.

La principal dificultad que se ha encontrado en el estudio actual ha sido la referente a blancos adecuados. Aquéllos formados por fluoruro de plomo evaporado sobre Formvar resultan débiles puesto que, sometidos al bombardeo del haz de partículas provenientes del Acelerador Van de Graaff, no soportan ni siquiera corrientes pequeñas ($\sim 0.1 \mu$ amp). Se probaron blancos de Formvar con oro volador depositado en la película del plástico para conducir el calor y PbF_2 evaporada; el espesor y la irregularidad del oro dispersaba las partículas emergentes a tal grado que los niveles se difundían. Blancos de PbF_2 evaporados sobre una lámina delgada de níquel resultaron altamente resistentes al bombardeo, pero no permitieron el paso de partículas a través de ellos, imposibilitando así observaciones a ángulos menores de 70° respecto a la dirección de las partículas incidentes. Los blancos que aparentemente resultan ser los más adecuados son los de Formvar reforzados con una capa delgada de oro evaporado y a su vez sobre éste, la película de PbF_2 . Si la capa de oro es suficientemente

delgada, es posible el paso de las partículas emergentes a través de ella sin causar gran dispersión en sus energías. A su vez el oro contribuye a conducir el calor producido en el blanco y a aumentar su tiempo útil.

Aunque se cree haber obtenido un tipo de blanco que soporte bombardeos intensos, es probable que uno sólo sea aún insuficiente para una distribución angular completa, además de tenerse el problema de la alteración de las sustancias durante el tiempo de exposición. Surge entonces la necesidad de cambiar blancos durante una distribución angular y con ella la de normalizar los resultados. Para esto se piensa aplicar el siguiente procedimiento: observar las partículas rebotadas elásticamente de los núcleos en cuestión a un sólo ángulo y comparar cualquier otro grupo de partículas respecto a ésta como integración básica. Para su observación se sugiere el uso de un espectrógrafo magnético semejante al que se tiene pero de dimensiones menores, y para poder conocer en todo momento los cambios del blanco deberán hacerse mediciones con un contador de centelleo simultáneamente durante el bombardeo.

Se exponen a continuación algunos resultados interesantes obtenidos durante los intentos realizados para lograr el blanco adecuado, incluyendo estudios de reacciones (d, α) y (p, α) en F^{19} además de las de (d, p) antes mencionadas.

ANTECEDENTES

La reacción $F^{19}(d, p) F^{20}$ ha sido estudiada, haciendo uso de un acelerador Van de Graaff, por Watson y Buechner³ cubriendo la misma región de excitación que el estudio actual. Estos investigadores observaron las partículas cargadas pesadas provenientes de las reacciones nucleares únicamente a 90° , ángulo de laboratorio, respecto a la dirección del haz de proyectiles, empleando un espectrógrafo magnético anular con enfoque interior a 180° . Sus resultados han sido publicados a los que les atribuyen errores no mayores de ± 7 y ± 8 keV para valores Q y energías de excitación respectivamente.

Khromchenko⁴, también con análisis magnético, midió un valor Q para

el estado base de esta reacción de 4.383 ± 0.015 MeV y reporta niveles de excitación de F^{20} con errores comprendidos entre ± 20 y ± 25 keV. Aunque en este trabajo se alcanzó una mayor energía de excitación, la finura de los resultados no es comparable con la obtenida por los primeros investigadores mencionados, debido a que sus proyectiles seguramente carecieron de la precisión deseada por el uso de un ciclotrón, empleado a la vez como acelerador y analizador.

Anteriormente Burrows, Powell y Rotblat⁵ reportaron para el estado base un valor Q de 4.39 MeV, Shull⁶ de 4.55 MeV, y Allen y Rall⁷ de 4.16 MeV.

Watson y Buechner³, también obtuvieron el espectro nuclear de O^{17} , usando de la reacción $F^{19}(d, \alpha) O^{17}$. El mismo espectro ha sido observado paralelamente a partir de reacciones (d, p) en O^{16} , apareciendo en el estudio más reciente reportado por Browne⁸, los niveles con energías de excitación de 5.695 y 5.731 MeV perfectamente resueltos mismos que Watson y Buechner a partir de la reacción (d, α) antes mencionada, no lograron definir; sólo aclaraban que podía tratarse de un grupo compuesto de dos o posiblemente más niveles de excitación muy próximos. Browne menciona niveles en O^{17} de mucha mayor anchura que la resolución propia del equipo a los que se les puede asociar por esta característica una vida promedio definida. Estos niveles anchos ocurren a energías de excitación de 4.553, 5.083 y 5.940 MeV.

El valor Q medido por Squires, Bockelman y Buechner⁹ para la reacción $F^{19}(p, \alpha) O^{16}$ fue de 8.110 ± 0.010 MeV. Obtuvieron además niveles de excitación hasta una energía de 11.085 MeV.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los blancos usados en los diferentes intentos del estudio actual ya fueron descritos, mismos que fabricados de distintos espesores se sometieron a pruebas de resistencia. El cambio de blancos, en general muy delgados, no introdujo diferencias apreciables en las energías medidas, mientras no acusaran una dispersión notable.

La energía de los proyectiles fue prefijada por medio del deflector magnético localizado antes de la cámara de blancos; su medida precisa se corrige a partir de la observación en el espectrógrafo de partículas rebotadas elásticamente de las sustancias del blanco, sin cambiar las condiciones del deflector. En ningún caso varió la energía de entrada en más de 10 keV de los 1.8 MeV elegidos.

Se hizo una sólo exposición con energía incidente de 2.2 MeV con objeto de observar algunos niveles de F^{20} en los que se temía que con menor energía, la observación de los trazos al microscopio se dificultara.

Las energías de los grupos de partículas observados en el espectrógrafo correspondientes a los distintos niveles fueron calculadas a partir del punto localizado a la tercera parte de la altura del pico del lado de mayor energía, ya que experimentalmente, se ha encontrado, por Rutherford y Strait, ser éste el lugar para el cual variaciones en el espesor de los blancos y en la intensidad de bombardeo no afectan su posición. La calibración del espectrógrafo fue hecha empleando las partículas alfa provenientes del Po^{210} . Wapstra¹⁰ publica para éstas una energía de 5.3042 MeV, promedio pesado de las mediciones de varios autores.

En los casos en que fue necesario y con el objeto de observar únicamente protones, bastó cubrir las placas fotográficas con filtros de aluminio de 1 mil de espesor, los que detuvieron grupos intensos de deuterones y partículas alfa que podían superponerse y obscurecer a los demás grupos de partículas.

REACCION $F^{19}(d,p)F^{20}$.

El espectro de F^{20} fue observado a partir de dicha reacción con energía de bombardeo de 1.8 MeV y se cubrió hasta una energía de excitación de 3.7 MeV; un espectro típico de esta reacción se muestra en la Fig. 1. En ella se graficó el número de trazos leídos al microscopio en fajas de 0.5 mm contra la distancia sobre las placas fotográficas; se ha agregado una escala de energías en la parte superior de la gráfica. Al estado base se le ha identificado

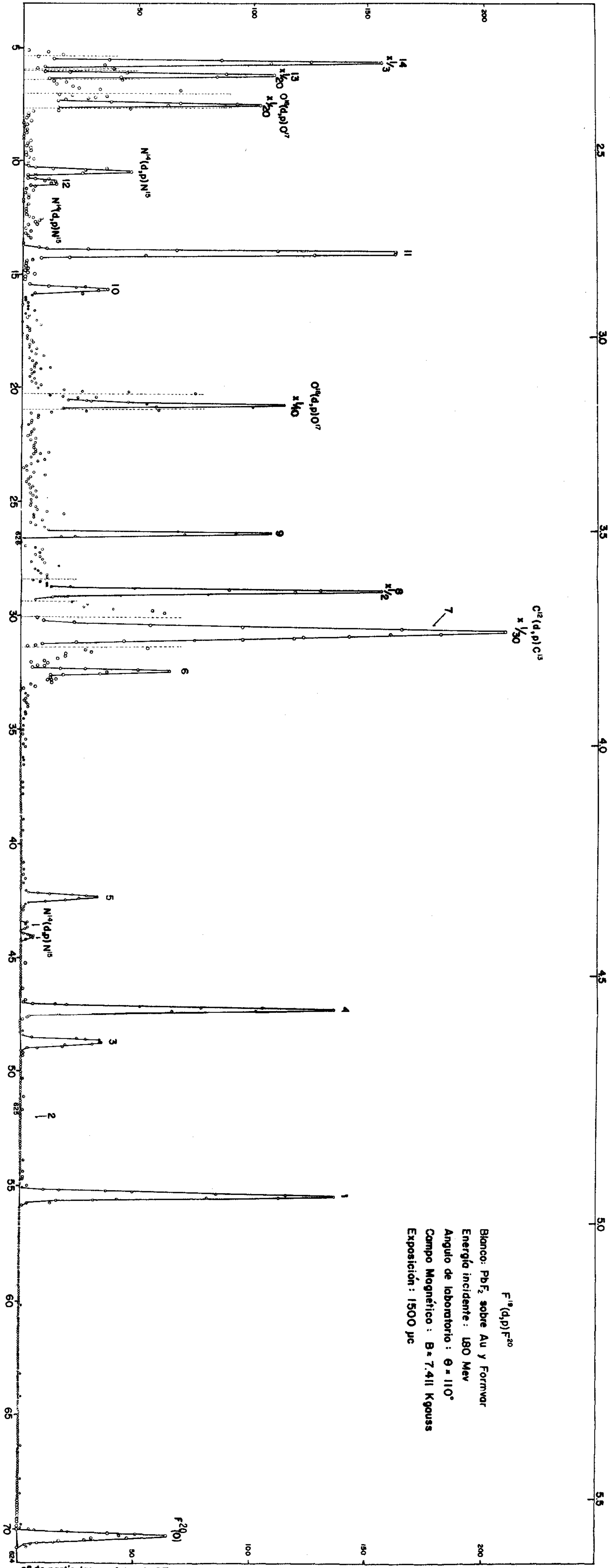
con 0 y a los excitados de F^{20} con los números progresivos del 1 al 14. Los grupos contaminantes han sido nombrados con los símbolos de la reacción correspondiente. El espectro de la Fig. 1 observado a 110° , ángulo de laboratorio, se muestra para apreciar las posiciones de los niveles 6 y 12, cubiertos a 90° por grupos contaminantes intensos.

Se determinó en este estudio un valor Q de 4.382 ± 0.009 MeV para el estado base. La medición más reciente efectuada por Khromchenko⁴, fue de 4.383 ± 0.015 MeV como ya se mencionó; anteriormente se contaba con el valor $Q = 4.373 \pm 0.007$ de Watson y Buechner³; estos resultados son congruentes dentro de los errores experimentales reportados; los demás autores aseguran cifras menos precisas. En la tabla 1 se han ordenado las energías de excitación obtenidas para los niveles de F^{20} siendo estos valores los promedios de observaciones efectuadas a 70° , 90° , 110° y 120° . En la misma tabla 1 se han incluido las energías de excitación obtenidas por Watson y Buechner por ser éstas las que se consideran más representativas. Por comparación se observa que los resultados de ambos trabajos son muy semejantes. Únicamente como referencia se incluyen los datos obtenidos por Khromchenko⁴, pero éstos carecen de la precisión suficiente para ser comparados, al igual que medidas reportadas por otros investigadores^{5,6,7}.

Se encontraron dos niveles no observados por Watson y Buechner, a los que les corresponden energías de excitación de 1.851 ± 0.004 y 3.184 ± 0.004 MeV. Khromchenko reporta un nivel con valor de 3.11 MeV y Shull uno de 3.12 MeV de excitación que posiblemente correspondan al segundo mencionado aquí, aunque sus diferencias son del orden de 70 y 60 keV respectivamente, por afuera de los errores experimentales.

El nivel marcado con 6 referente al grupo que tiene una energía de excitación de 1.851 MeV aparece cubierto en las exposiciones de 90° por el grupo intenso de protones provenientes del estado base de la reacción $C^{12}(d,p)C^{13}$. Al efectuar exposiciones con ángulos de 110° y 120° se separan notablemente los dos picos de protones. A los 120° el grupo de F^{20} tiene una energía de salida de 96 keV arriba de la de $C^{13}(0)$, cantidad fácilmente observable dada la resolución con que se cuenta. El hecho de observar el pico a 110° con energía

ENERGIA DE PROTONES EN MeV



DISTANCIA SOBRE LAS PLACAS EN CM

Fig. 1

Esta página está intencionalmente en blanco

TABLA 1

Reacción $F^{19} (d,p) F^{20}$

Presente estudio			Watson y Buechner ³	Khromchenko ⁴
Nivel	E_x (MeV)	Int. Relat.	E_x (MeV)	E_x (MeV)
0	0(Q = 4.382 ± 0.009)	1.0	0(Q = 4.373 ± 0.007)	0(Q = 4.383 ± 0.015)
1	0.660 ± 0.004	2.30	0.652 ± 0.008	0.66
2	0.828 ± 0.004	0.16	0.828 ± 0.008	0.81
3	0.989 ± 0.004	0.37	0.988 ± 0.008	
4	1.064 ± 0.004	1.09	1.059 ± 0.008	1.08
5	1.312 ± 0.004	0.36	1.309 ± 0.008	1.34
6	1.851 ± 0.004	0.28 (110°)		
7	1.975 ± 0.004	0.35	1.970 ± 0.008	
8	2.050 ± 0.004	2.24	2.048 ± 0.008	
9	2.200 ± 0.004	0.59	2.195 ± 0.008	2.15
10	2.877 ± 0.004	0.19	2.870 ± 0.008	
11	2.979 ± 0.004	0.97	2.966 ± 0.008	
				3.11
12	3.184 ± 0.004	0.05 (110°)		
13	3.499 ± 0.004	6.86	3.491 ± 0.008	
14	3.538 ± 0.004	1.31	3.528 ± 0.008	
15	3.598 ± 0.004	0.43	3.586 ± 0.008	3.58
16	3.682 *	0.34	3.681 ± 0.008	3.77

* Una sólo observación.

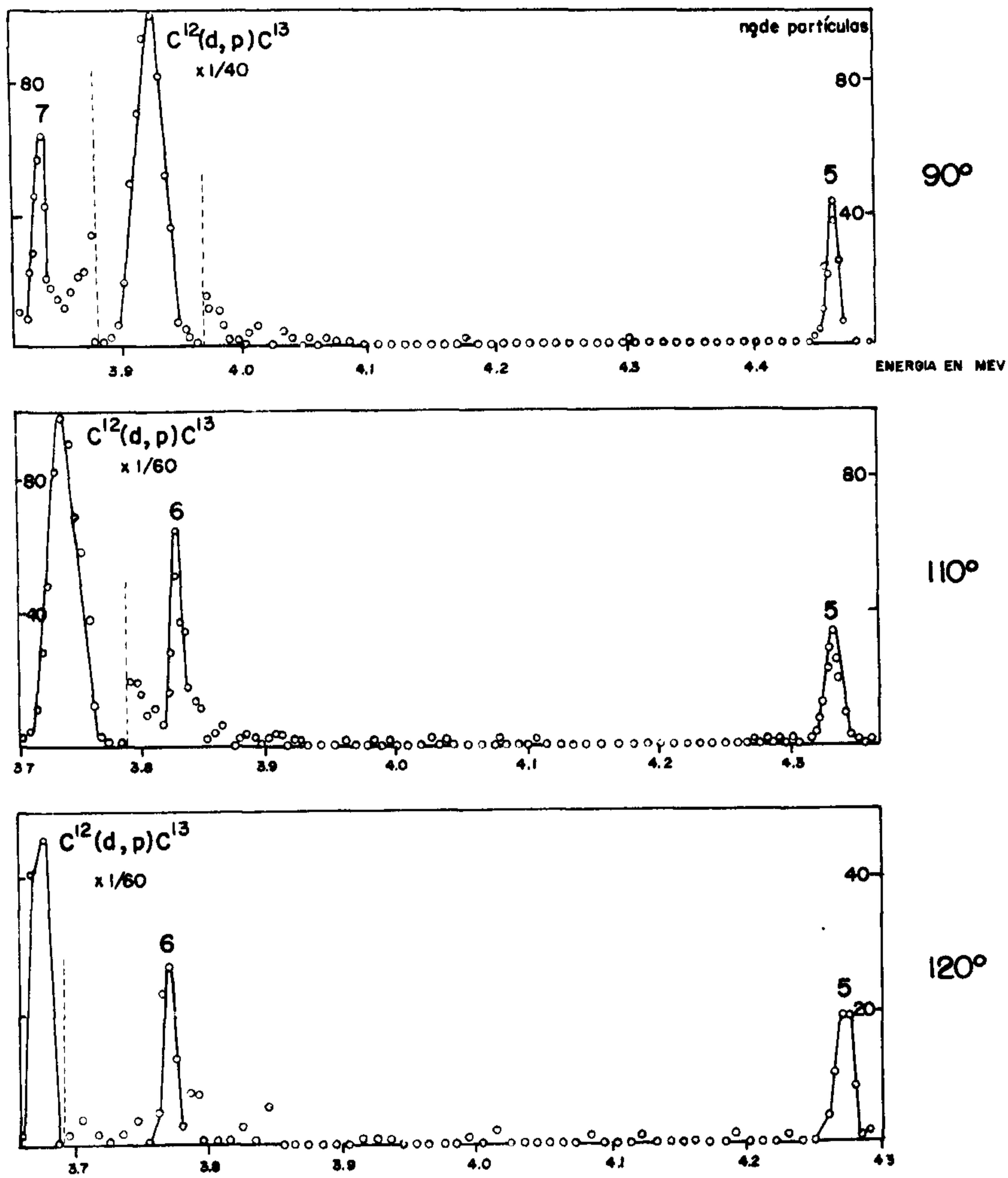


Fig. 2 Posiciones relativas de los niveles 5, 6 y 7 de F^{20} del contaminante C^{13} (0)

de excitación de sólo 3 keV arriba de lo esperado, respecto al medido a los 120° , demuestra la existencia de este nivel (véase Fig. 2).

El 5º estado excitado producido en la reacción $N^{14}(d,p)N^{15}$ resulta tener la misma energía de salida a 90° que el marcado con el número 12 de F^{20} . Sin embargo, a 70° y a 110° se separan 32 keV los dos grupos, en cada caso en sentido opuesto como se aprecia en la Fig. 3. Watson y Buechner mencionan que para los cambios de energía de entrada de 0.3 MeV usados por ellos, un nivel de F^{20} y uno de N^{15} se separarían 13.5 keV, dando por resultado un nivel más ancho. Este hecho, agregado al de que la contaminación de N^{14} es mucho mayor en intensidad, explica el que no hayan podido diferenciarlos.

Se observó un grupo poco intenso con energías de salida de 2.445 MeV en una sólo de las exposiciones con blanco de níquel a 90° . Watson y Buechner reportaron haber visto el mismo grupo usando blancos que no eran de Ni. En el caso de tratarse de un nivel de F^{20} , éste tendría una energía de excitación de 2.439 MeV. Sin embargo es probable que, como mencionaron dichos investigadores, tenga alguna relación con el pico intenso próximo de O^{17} .

Los intentos de observar otras resonancias mayores a 3.7 MeV fueron poco fructíferos por falta de energía. Los trazos resultaban demasiado pequeñas para poder ser observados con precisión en el microscopio. Una sólo vez pudo determinarse un grupo al cual le corresponden 3.682 MeV de energía de excitación.

En la Fig. 4 se muestra un diagrama de los niveles de energía de F^{20} determinados en el estudio actual hasta una energía de excitación de 3.7 MeV, siendo el valor Q del estado base el ya mencionado de 4.382 MeV. Dichas cifras confirman la observación hecha por Watson y Buechner y más tarde por El Bedewi¹¹ que algunos niveles tienen energía de excitación cercana a un múltiplo entero de 165 keV.

Los grupos contaminantes provienen del C, O y N del Formvar, siendo los más intensos aquéllos correspondientes de las reacciones $C^{12}(d,p)C^{13}(O)$ y $O^{16}(d,p)O^{17}(O)$ y (1). En la tabla 2 se han identificado con sus respectivos valores Q . Anexas aparecen las medidas resumidas por Ajzenberg-Selove y Lauritsen¹².

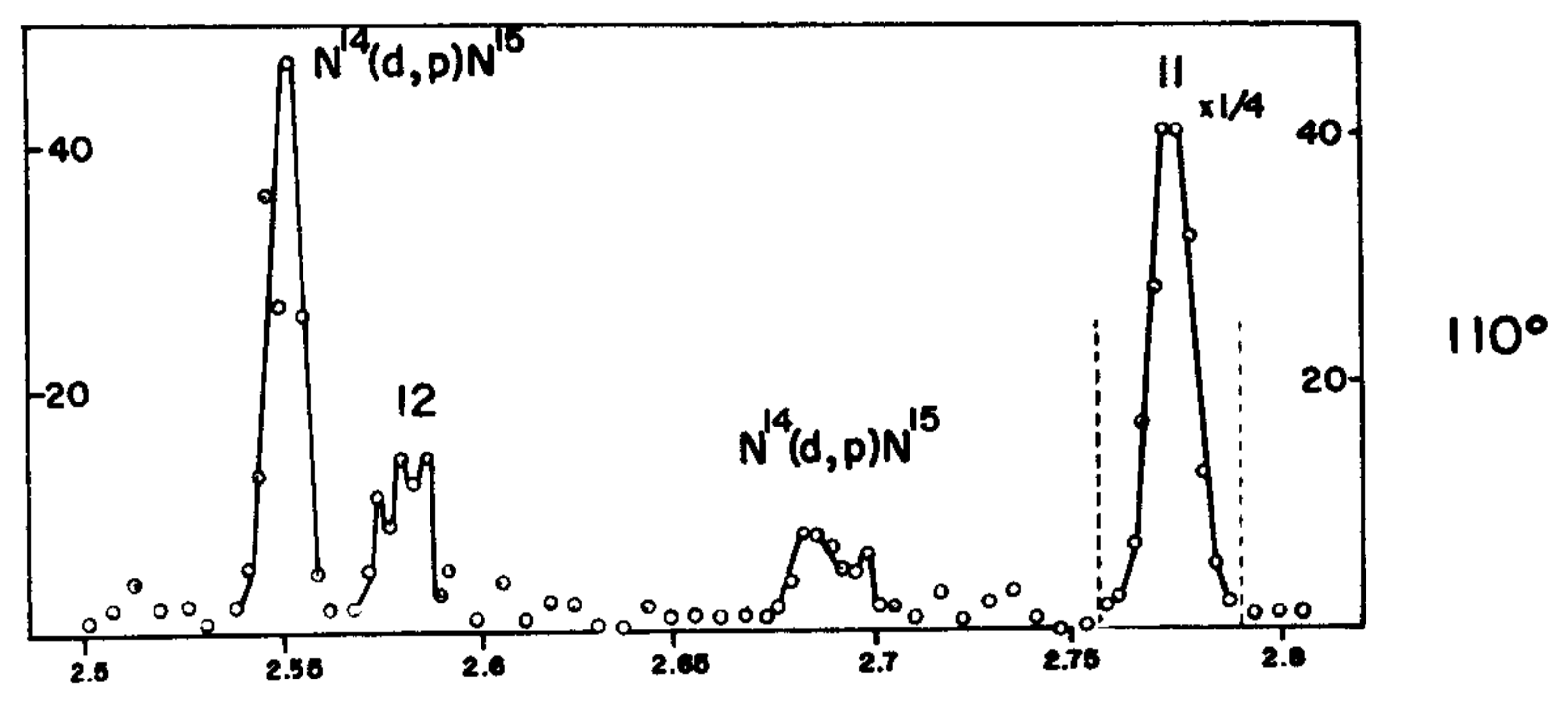
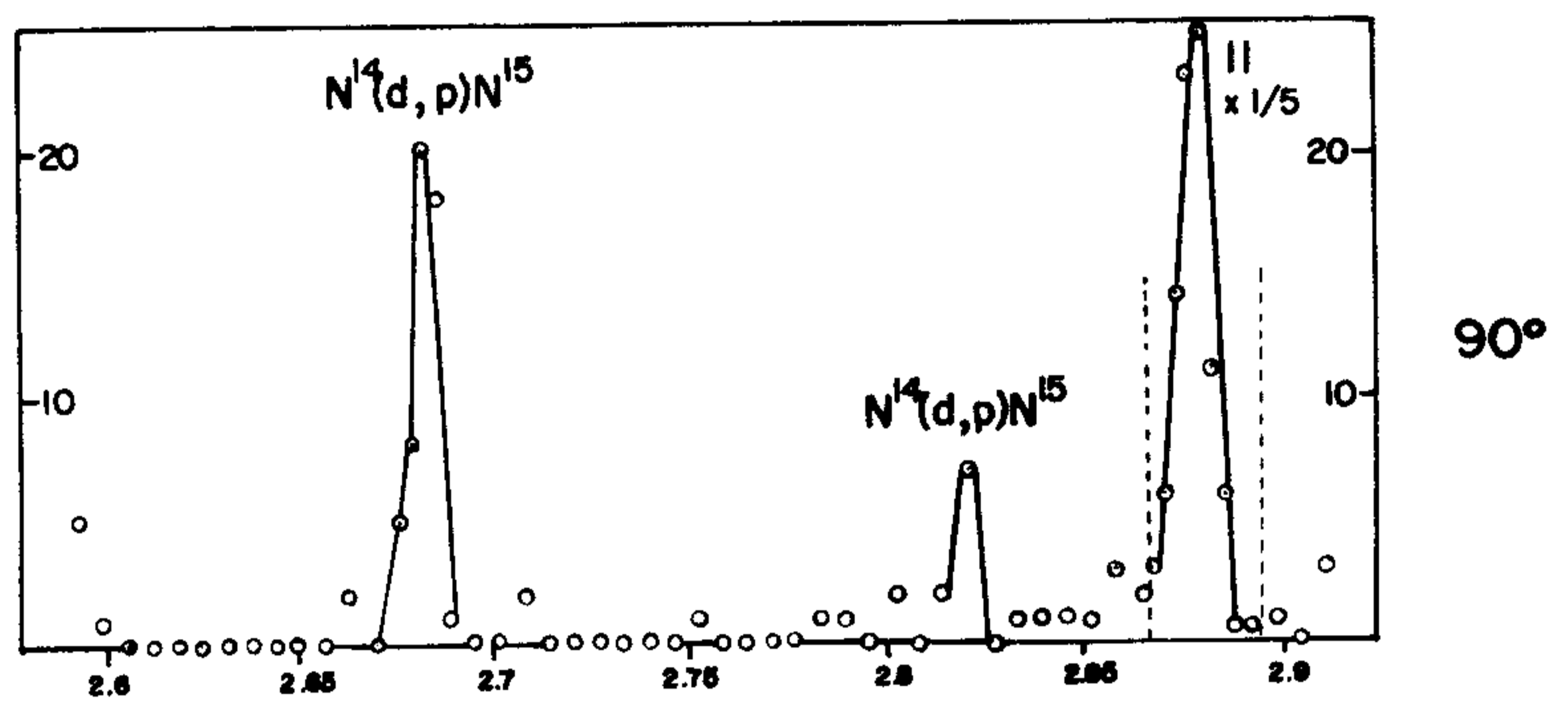
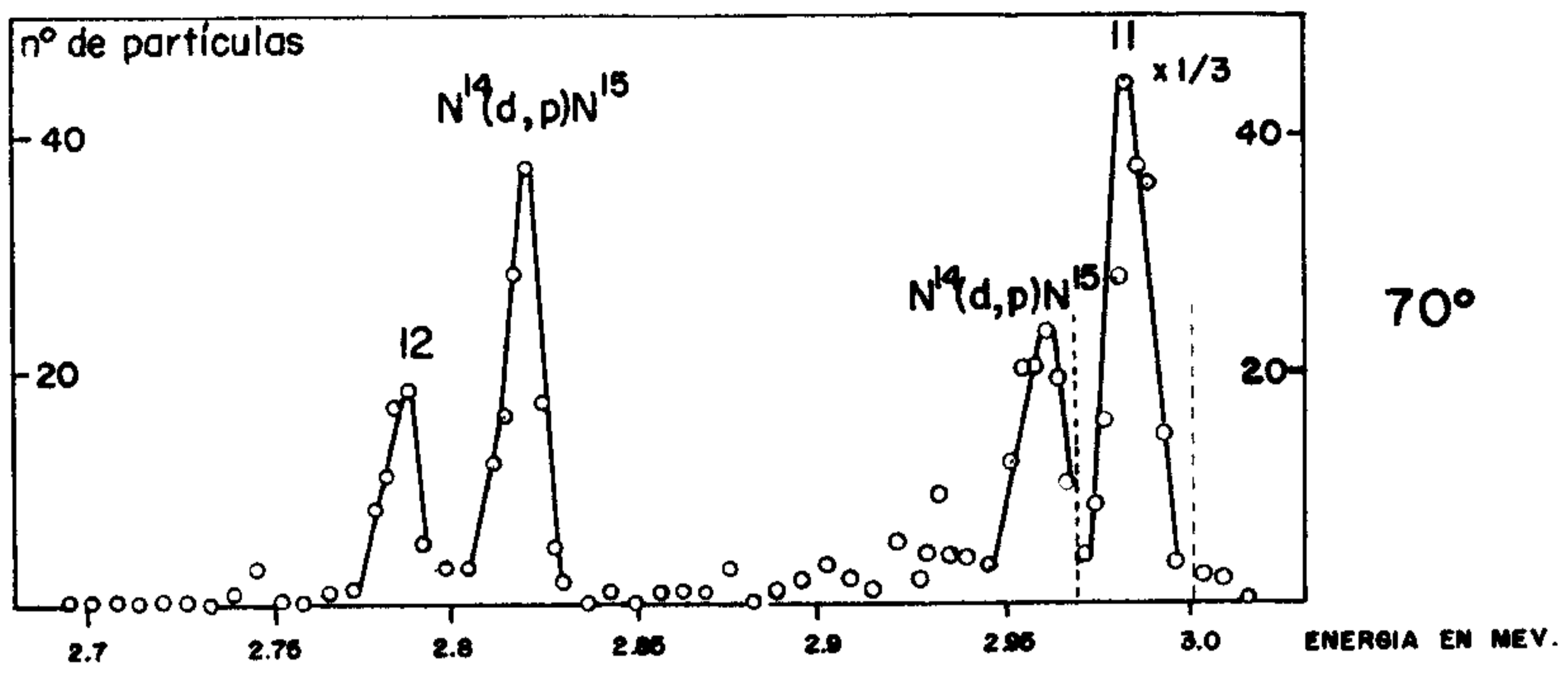


Fig. 3 Posiciones relativas de los niveles II y 12 de F^{20} y el contaminante N^{15} (5)

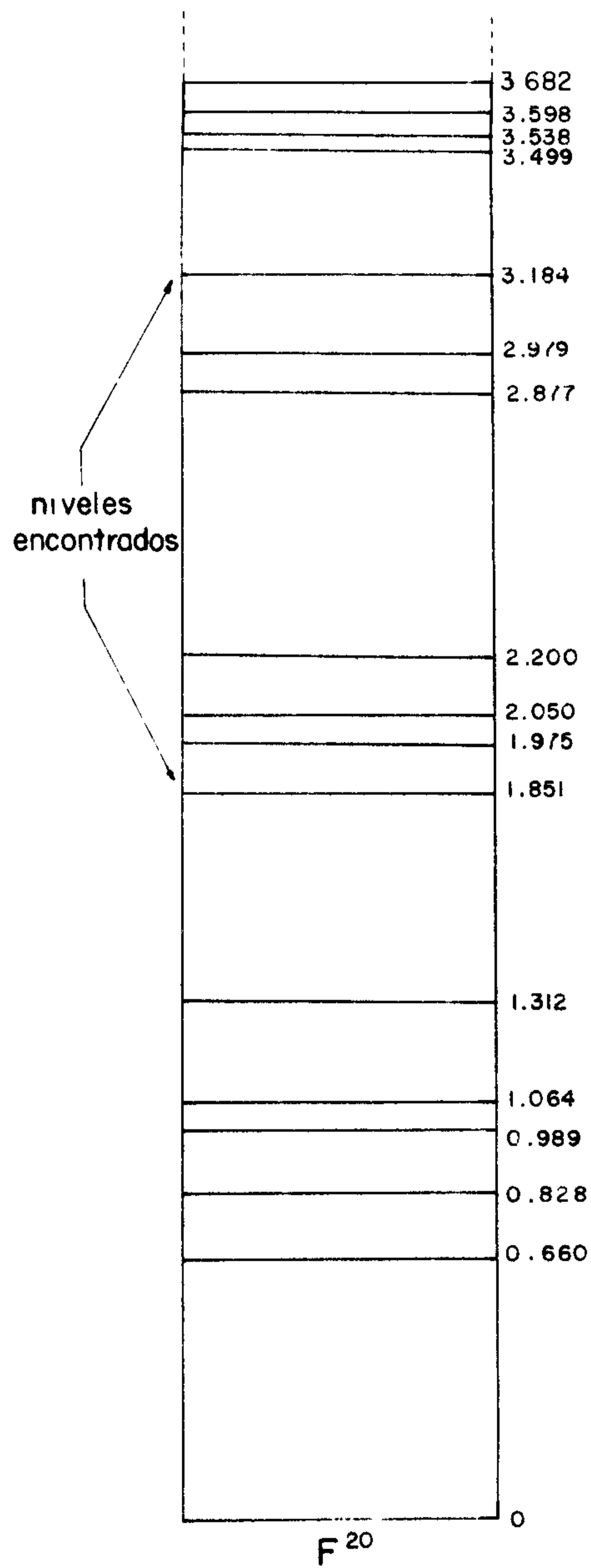


Fig. 4 Diagrama de Niveles de Energia de

TABLA 2

Grupos de Contaminantes en los Blancos de PbF_2

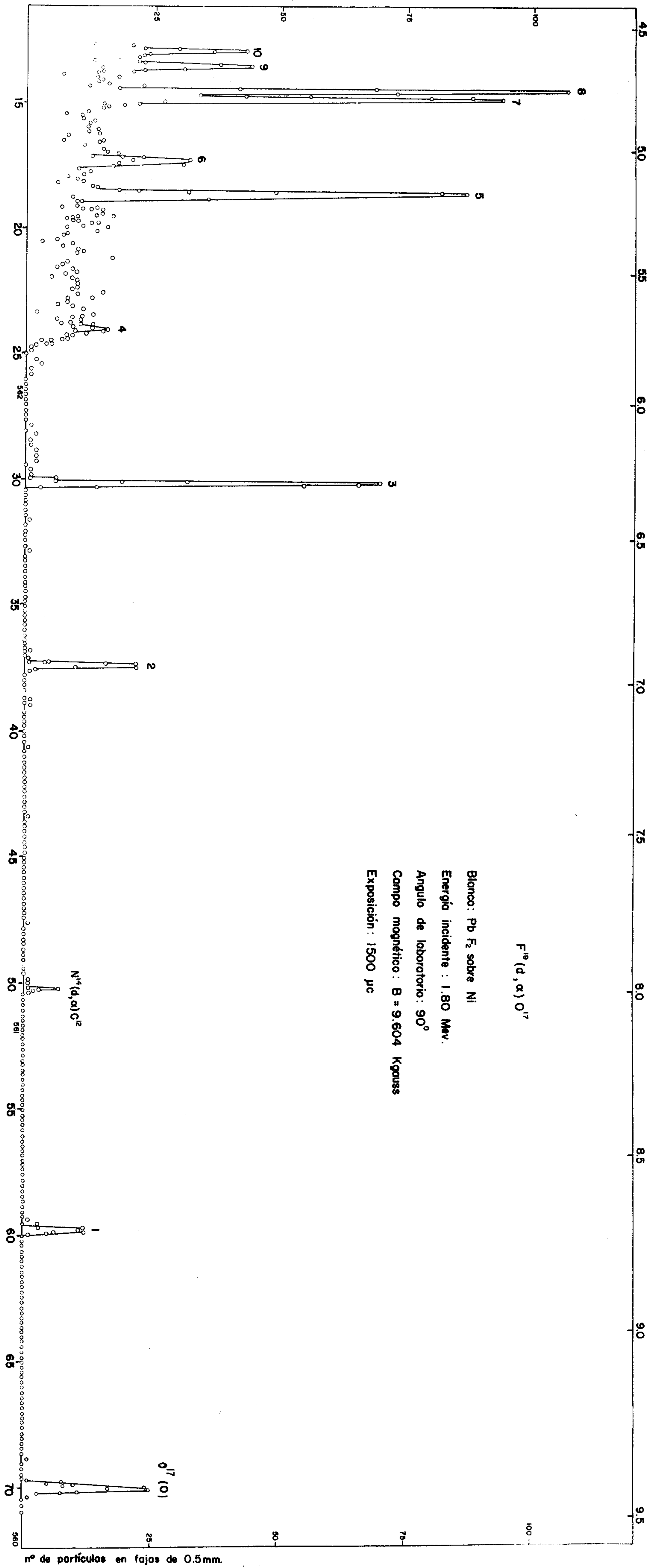
Reacción	Q (MeV)	Q anterior ¹² (MeV)
$\text{C}^{12}(\text{d,p})\text{C}^{13}$ (0)	2.718 ± 0.009	2.721
$\text{C}^{13}(\text{d,p})\text{C}^{14}$ (0)	5.958 ± 0.010	5.943
$\text{N}^{14}(\text{d,p})\text{N}^{15}$ (1)	3.349 ± 0.020	3.339
(2)	3.314 ± 0.009	3.310
(4)	1.458 ± 0.009	1.451
(5)	1.307 ± 0.005	1.306
$\text{O}^{16}(\text{d,p})\text{O}^{17}$ (0)	1.918 ± 0.006	1.918
(1)	1.046 ± 0.005	1.047

Las intensidades relativas al estado base tomado como unitario de los niveles excitados obtenidos a 90° , han sido incluídas en la tabla 1. Debido al reducido número de trazos y a la alteración de las sustancias bombardeadas, se piensa que estos valores no tienen una aproximación mejor que un 30 %. Las intensidades correspondientes a los niveles 6 y 12 se calcularon a 110° y llevan una notación que así lo indica.

REACCION $\text{F}^{19}(\text{d},\alpha)\text{O}^{17}$

La Fig. 5 contiene el espectro de las partículas alfa provenientes de la reacción $\text{F}^{19}(\text{d},\alpha)\text{O}^{17}$ a 90° , inducido con una energía de entrada de 1.8 MeV en función de su distancia sobre las placas en cm. Los grupos están identificados según la convención ya mencionada. No se observaron grupos con energía de excitación mayor a 6.0 MeV por estar cubierta esta región con deuterones

ENERGIA DE ALFAS EN MeV



DISTANCIA SOBRE LAS PLACAS EN CM

Fig. 5

Esta página está intencionalmente en blanco

rebotados elásticamente, principalmente en el Pb del blanco.

En la tabla 3 se han listado las energías de excitación para los niveles observados, con un valor Q para el estado base de 10.059 ± 0.010 MeV. Para compararlos se incluyen en ella los resultados de Watson y Buechner³ y los de Browne⁴. Se puede observar una semejanza apreciable entre los valores actuales y los de Watson y Buechner, pero una divergencia mayor que los mismos errores experimentales respecto a los datos de Browne, logrados con la reacción $O^{16}(d,p)O^{17}$; esta discrepancia probablemente se deba a que las partículas alfa son más sensibles a perder energía en algún contaminante que se deposite en el blanco, y a una diferente calibración de los espectrógrafos.

TABLA 3

Nivel	Reacción $F^{19}(d, \alpha)O^{17}$		Reacción $O^{16}(d,p)O^{17}$	
	Presente estudio E_x (MeV)	Int. Relat.	Watson y Buechner ³ E_x (MeV)	Browne ⁴ E_x (MeV)
0	$O(Q = 10.059 \pm 0.010)$	1.0	$O(Q = 10.028)$	$O(Q = 1.918 \pm 0.004)$
1	0.878 ± 0.006	0.50	0.883 ± 0.011	0.871 ± 0.004
2	3.071 ± 0.012	0.36	3.069 ± 0.010	3.055 ± 0.004
3	3.866 ± 0.010	1.21	3.856 ± 0.011	3.846 ± 0.005
4	4.570 ± 0.030	0.25	4.567 ± 0.014	4.553 ± 0.006
				5.083 ± 0.010
5	5.245 ± 0.012	0.90	5.229 ± 0.013	5.215 ± 0.005
6	5.408 ± 0.020	0.35	5.397 ± 0.014	5.378 ± 0.007
7	5.726 ± 0.008	1.01	5.723 ± 0.014	5.695 ± 0.005
8	5.758 ± 0.015	0.95		5.731 ± 0.005
9	5.897 ± 0.012	0.30	5.875 ± 0.015	5.866 ± 0.005
10	5.961 ± 0.020	0.32	5.947 ± 0.015	5.94 ± 0.015

Los niveles marcados 4, 6 y 10 fueron observados por Browne con cierta anchura propia; también en este trabajo la determinación de su energía resulta poco precisa, además de ser estos niveles de poca intensidad. Otro grupo ancho reportado por Browne a los 5.083 MeV de excitación, fue observado en este estudio en una sola de las exposiciones, pero se omite el cálculo de su energía por falta de datos comprobatorios.

Se produce un alto fondo de partículas alfa comenzando cerca de los 25 cm de distancia, el que dificulta la observación a partir del 4º nivel. Este fondo ha sido atribuido³ a la reacción $F^{19}(d,n)Ne^{20}$ en la cual el Ne^{20} inestable decae por emisión alfa a O^{16} . Fue observada en todos los casos pero es difícil precisar en general el punto donde empieza; sin embargo, se define bastante un escalón en la Fig. 5, en donde la energía máxima de las alfas es del orden de 5.75 MeV. En la exposición de 120° se observó una pequeña disminución en su intensidad. En los espectros obtenidos por Browne se observa un fondo de protones cuya posición relativa, respecto a grupos conocidos de O^{17} , concuerda con la mencionada. Si dicho fondo no es propio del equipo empleado por él, se podría atribuir este fenómeno posiblemente a una característica propia del núcleo O^{17} .

Los niveles marcados con los números 7 y 8 tienen entre sí una diferencia de energía de 32 keV y fueron observados con buena resolución como puede verse en la misma Fig. 5. Watson y Buechner habían hecho notar que la estructura obtenida por ellos podía deberse a dos o más niveles muy cercanos, pero al estudiar la reacción $O^{16}(d,p)O^{17}$, se resolvieron igual que en este trabajo, los dos picos perfectamente⁸.

Aparecían en los espectros de O^{17} dos máximos sumamente débiles de contaminantes, pero su poca intensidad dificultó la determinación, de sus energías. Se identificó el estado base de $C^{13}(d,t)C^{12}$ en una sola exposición con un valor Q de 1.312 MeV. En otras dos exposiciones se midió, correspondiendo al primer nivel excitado proveniente de la reacción $N^{14}(d,\alpha)C^{12}$, un valor $Q = 9.151$ MeV.

Las intensidades relativas ordenadas en la tabla 3 se calcularon de los espectros observados a 90° , tomando como unidad la asociada al estado base.

Estas no corresponden a la intensidad aparente mostrada en la Fig. 5 debido a la corrección por ángulo sólido de admisión al espectrógrafo. Se les estima un error del orden de 40 %.

Las demás reacciones posibles provenientes del bombardeo de F^{19} con deuterones no se estudiaron debido a tener valores Q negativos, requiriéndose para su observación una energía de bombardeo mucho mayor de la que se tiene en el Acelerador Van de Graaff de la U.N.A.M. Se citan $F^{19}(d,t)F^{18}$ con -4.155 MeV y $F^{19}(d,He^3)O^{18}$ con -2.470 MeV, valores tomados de Ajzenberg-Selove y Lauritzen¹².

REACCION $F^{19}(p, \alpha) O^{16}$

Se estudió esta reacción bombardeando con protones de 1.8 MeV con fines de ligar energéticamente distintos núcleos para obtener sus masas isotópicas. Para el estado base se midió un valor $Q = 8.120 \pm 0.006$ MeV. No se intentó observar el espectro de O^{16} debido a su alta energía de excitación, además de que ya había sido estudiado por Squires, Bockelman y Buechner⁹ con un equipo semejante al empleado actualmente. Estos investigadores obtuvieron para el estado base un valor $Q = 8.110 \pm 0.010$ MeV, valor que difiere del determinado en el presente estudio sólo en 10 keV. Esta diferencia probablemente se deba a la distinta energía de las alfas del Po^{210} empleada para fines de calibración, la que ha ido cambiando ligeramente según los reportes de varios autores.

Las reacciones (p,t) , (p,He^3) y (p,d) en F^{19} tienen valores Q de -11.098 , -8.313 y -8.187 MeV para sus correspondientes estados base¹². Como en el caso anterior, este hecho impide su observación con energías de bombardeo bajas.

DETERMINACION DE MASAS NUCLEARES

Se hizo una estimación de las masas nucleares de F^{19} , O^{17} y F^{20} to-

mando como base la masa nuclear de $O^{16} = 15.995611$ u.a.m.¹³, número que resulta de restar ocho masas electrónicas de 16.000000 u.a.m., correspondiente a la masa atómica del isótopo 16 del oxígeno. Se han utilizado para protones, deuterones, y partículas alfa las masas nucleares que siguen: 1.007593, 2.014186 y 4.002776 u.a.m., respectivamente. Como base de dichos cálculos se obtiene que la suma de los valores Q de las reacciones $O^{16}(d,p)O^{17}$ y $F^{19}(p,\alpha)O^{16}$ debe ser igual al valor Q de $F^{19}(d,\alpha)O^{17}$ como resultado de la eliminación de los elementos correspondientes. Se compensó la discrepancia de 21 keV en el cierre de esta suma proporcionalmente a las pérdidas de energía de las partículas emergentes en un supuesto contaminante superficial. En la tabla 4 se han incluido las masas nucleares calculadas para ser comparadas con los resultados de restar la masa electrónica correspondiente de las masas atómicas reportadas anteriormente por Bainbridge¹³. Como se puede observar, los valores se encuentran dentro de los errores experimentales que les atribuye dicho investigador.

TABLA 4

MASAS NUCLEARES

	Presente estudio		Bainbridge ¹³	
	Masa	Error x 10 ⁻⁶	Masa	Error x 10 ⁻⁶
O^{17}	17.000139	12	17.000144	7
F^{19}	18.999521	13	18.999518	15
F^{20}	20.001409	16	20.001414	19

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al personal del Laboratorio Van de Graaff por su valiosa cooperación, al Físico M. Mazari por la supervisión del trabajo, a los Sres. Luis y

Francisco Velázquez por el manejo de la máquina y a las Sritas. Silvia Castillo, Beatriz Casillas y Edda Osalde por la lectura de algunas placas al microscopio.

REFERENCIAS

- 1.- Mazari, Velázquez y Alba, *Rev.Mex.Fís.* VIII, 1 (1959).
- 2.- Mazari, Castro, Alba y Vázquez, *Rev.Mex.Fís.* VI, 9, (1957).
Buechner, Mazari y Sperduto, *Phys.Rev.* 101, 188 (1956).
- 3.- H.A. Watson y W.W. Buechner, *Phys.Rev.* 88, 1324 (1952).
- 4.- L.M. Khromchenko, *Zh.Eksp.Teor.Fiz.* 32, 194 (1957).
- 5.- Burrows, Powell y Rotblat, *Proc.Roy.Soc. (London)* A209, 478 (1951).
- 6.- F.B. Shull, *Phys.Rev.* 83, 875 (1951).
- 7.- R.C. Allen y W. Rall, *Phys.Rev.* 81, 60 (1951).
- 8.- C.P. Browne, *Phys.Rev.* 108, 1007 (1957).
- 9.- Squires, Bockelman y Buechner, *Phys.Rev.* 104, 413 (1956).
- 10.- Wapstra, Nijgh y Van Lieshout, *Nuclear Spectroscopy Tables*, p. 128, North-Holland Publishing Co. (1959).
- 11.- F.A. El Bedewi, *Proc.Phys.Soc.* A69, 221 (1956).
- 12.- F. Ajzenberg-Selove y T. Lauritsen, *Nuc.Phys.* 11, 1 (1959).
- 13.- K.T. Bainbridge, *Experimental Nuclear Physics*, Vol. 1, p. 559, Ed. Segré, Wiley (1953).

Esta página está intencionalmente en blanco