

Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare
ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Sottosezione di Firenze

INFN/BE-68/4
9 Aprile 1968

G. Caporiacco, G. Parrini and S. Petralia :
REAZIONE $^{16}\text{O}(n\alpha)^{13}\text{C}$ CON NEUTRONI DI 14.2 MeV. -

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sottosezione di Firenze

INFN/BE-68/4
9 Aprile 1968

G. Caporiacco, G. Parrini, S. Petralia^(x): "REAZIONE $^{16}\text{O} (n\alpha)^{13}\text{C}$
CON NEUTRONI DI 14,2 MeV"^(o).

INTRODUZIONE. -

La reazione $^{16}\text{O} (n\alpha)^{13}\text{C}$ con neutroni di 14 MeV è stata studiata per la prima volta da A. B. Lillie⁽¹⁾ in camera a nebbia. Successivamente diversi autori^(2, 7) hanno eseguito misure su questa reazione, sia con tecniche elettroniche che con tecniche visive. I risultati ottenuti, per quanto riguarda la distribuzione angolare delle particelle α emesse, mentre indicano tutti l'esistenza di una componente asimmetrica delle α che lasciano il nucleo residuo nello stato fondamentale o nei primi stati eccitati, discordano completamente per quanto riguarda la forma della asimmetria.

L'inconsistenza dei risultati sperimentali finora esistenti su questa reazione è tale da suggerire l'opportunità di un ulteriore studio.

(x) - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Bologna.

(o) - Lavoro eseguito nel programma del contratto EURATOM-CNEN.

2.

PROCEDIMENTO SPERIMENTALE. -

Nelle esperienze da noi eseguite abbiamo fatto uso della tecnica della camera a nebbia, tecnica già da noi⁽⁸⁾ impiegata a proposito dello studio della reazione $^{20}\text{Ne}(n\alpha)^{17}\text{O}$. La pressione del gas ossigeno nella camera era di due atmosfere e il vapore di condensazione era solamente vapore acqueo. Sono stati ripresi 2000 fotogrammi e in questi misurati circa 5000 eventi. L'analisi di questi eventi è stata proseguita con l'uso di un calcolatore e un programma perfezionato, che considerava tutte le possibilità per i prodotti della reazione, e cioè emissione di particelle α , emissione di protoni o di deutoni. Da tale analisi si ricavava l'energia delle particelle di reazione e il loro angolo di emissione con la direzione dei neutroni incidenti, nel sistema del centro di massa.

Sono stati adottati i seguenti criteri di selezione degli eventi:

- 1) ogni evento doveva soddisfare almeno una delle tre ipotesi che erano state inserite nel programma;
- 2) l'angolo del rinculo calcolato doveva coincidere, entro gli errori, con l'angolo misurato.

Come test globale abbiamo costruito la curva range-energia per il nucleo ^{13}C in ossigeno, che è riportata in Fig. 2.

Sono stati così selezionati 2354 eventi, che si possono attribuire alla reazione $^{16}\text{O}(n\alpha)^{13}\text{C}$. Nelle distribuzioni angolari riportate nelle figure successive, agli eventi è stato attribuito un peso, dipendente essenzialmente dal range e dall'angolo di emissione delle particelle α , che tiene conto della probabilità di osservazione di ciascun evento, così come è indicato nel nostro Rapporto INFN/BE-65/7⁽⁸⁾.

RISULTATI E DISCUSSIONE. -

Nella Fig. 1 è riportato lo spettro dell'energia di reazione per gli eventi selezionati. Si notano due picchi ben distinti, uno a $1,7 \leq Q < 2,5$ MeV corrispondente alla transizione sullo stato fondamentale del nucleo residuo ^{13}C , l'altro a $5 \leq Q < 5,5$ MeV relativo alle α che lasciano il nucleo ^{13}C nel primo stato eccitato. Il grande picco centrato a 5,9 MeV può risultare dalla fusione dei due livelli eccitati del ^{13}C a 3,68 MeV e a 3,85 MeV. Altri picchi si possono riconoscere nell'intervallo da 7 a 11 MeV, alcuni dei quali sicuramente riferibili a livelli noti del ^{13}C .

Calcolata dalla cinematica di ogni singola disintegrazione l'energia del nucleo residuo e misurata la lunghezza della traccia di tale nucleo nella camera a nebbia, è stata costruita la curva range -

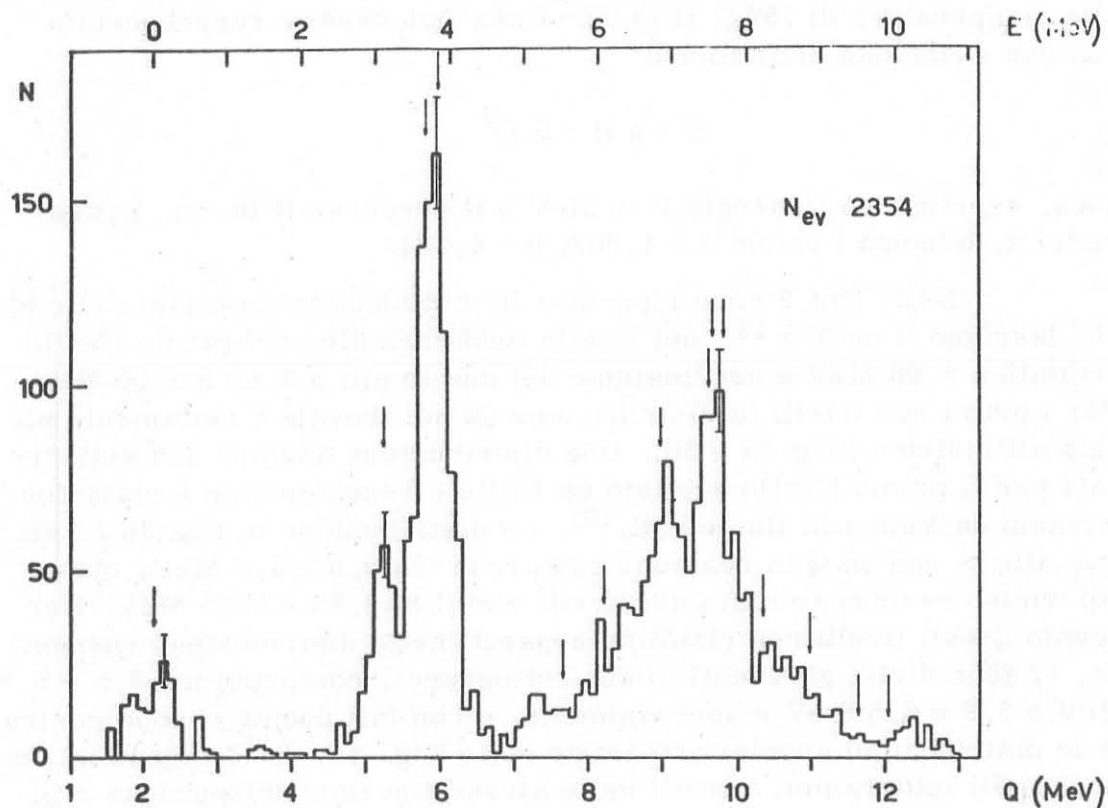


FIG. 1 - Valore sperimentale del Q della reazione $^{16}\text{O} (n \alpha) ^{13}\text{C}$ dedotto da 2354 eventi esaminati.

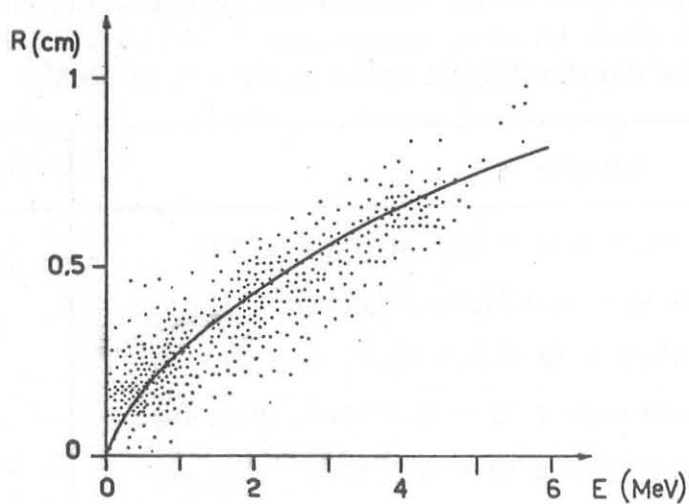


FIG. 2 - Relazione range-energia per il ^{13}C in ossigeno a 15°C e a una atmosfera.

4.

-energia per il ^{13}C nell'ossigeno, alla pressione di una atmosfera e alla temperatura di 15°C (Fig. 2). Essa può essere rappresentata con una equazione della forma

$$E = a R + b R^2$$

dove, esprimendo l'energia E in MeV e il percorso R in cm, i parametri a , b hanno i valori $a = 1,862$; $b = 6,241$.

Nelle Fig. 3 sono riportate le distribuzioni angolari delle α che lasciano il nucleo ^{13}C nel livello fondamentale, nel primo livello eccitato a $3,08$ MeV e nell'insieme dei due livelli a $3,68$ e $3,85$ MeV. Per i primi due livelli la distribuzione da noi trovata è nettamente piccata all'indietro (Fig. 3a e 3b). Una distribuzione analoga era stata trovata per il primo livello eccitato da Lillie e recentemente è stata confermata da Yui-Chi Hsu e coll. (6). La distribuzione in Fig. 3c è relativa alle α con un Q di reazione compreso tra $5,5$ e $6,6$ MeV, quindi col nucleo residuo eccitato nei livelli vicini di $3,68$ e $3,85$ MeV. Per quanto questi livelli non risultino separati nella distribuzione energetica, si sono divisi gli eventi in due sottogruppi, compresi tra $5,5$ e $5,9$ MeV e $5,9$ e $6,5$ MeV rispettivamente, e con tali eventi si sono costruite le distribuzioni angolari riportate nelle Fig. 4a, 4b (istogrammi continui). Gli istogrammi a tratti delle stesse figure corrispondono a intervalli energetici più ristretti.

Nella seguente tabella sono riportati, per ogni livello, i valori del parametro di asimmetria della distribuzione angolare delle particelle α , $A = (N_a - N_i)/(N_a + N_i)$. Da essa risulta che le distribuzioni parziali di Fig. 4a e 4b hanno parametri di asimmetria significativamente diversi ed è perciò lecito concludere che il picco a $5,9$ MeV, nella distribuzione energetica, risulta effettivamente dalla sovrapposizione dei due livelli noti a $3,65$ e $3,85$ MeV.

| Livello | Parametro, % |
|---|------------------|
| fondamentale ($1,7 \leq Q < 2,5$ MeV, Fig. 3a) | $-66,5 \pm 15$ |
| 1° livello ($5 \leq Q < 5,5$ MeV, Fig. 3b) | $-28,5 \pm 9,1$ |
| 2°-3° livello ($5,5 \leq Q < 6,5$ MeV, Fig. 3c) | $+ 8,5 \pm 4,2$ |
| 2° liv. separato ($5,5 \leq Q < 5,9$ MeV, Fig. 4a) | $+20 \pm 6,1$ |
| 2° liv. separato ($5,5 \leq Q < 5,7$ MeV, Fig. 4a) | $+11,2 \pm 7,5$ |
| 3° liv. separato ($5,9 \leq Q < 6,5$ MeV, Fig. 4b) | $+12 \pm 5,6$ |
| 3° liv. separato ($6,1 \leq Q < 6,5$ MeV, Fig. 4b) | $+19,8 \pm 10,2$ |
| gruppo livelli a $9,4 \leq Q < 10$ MeV, Fig. 5 | $+15,6 \pm 5,4$ |

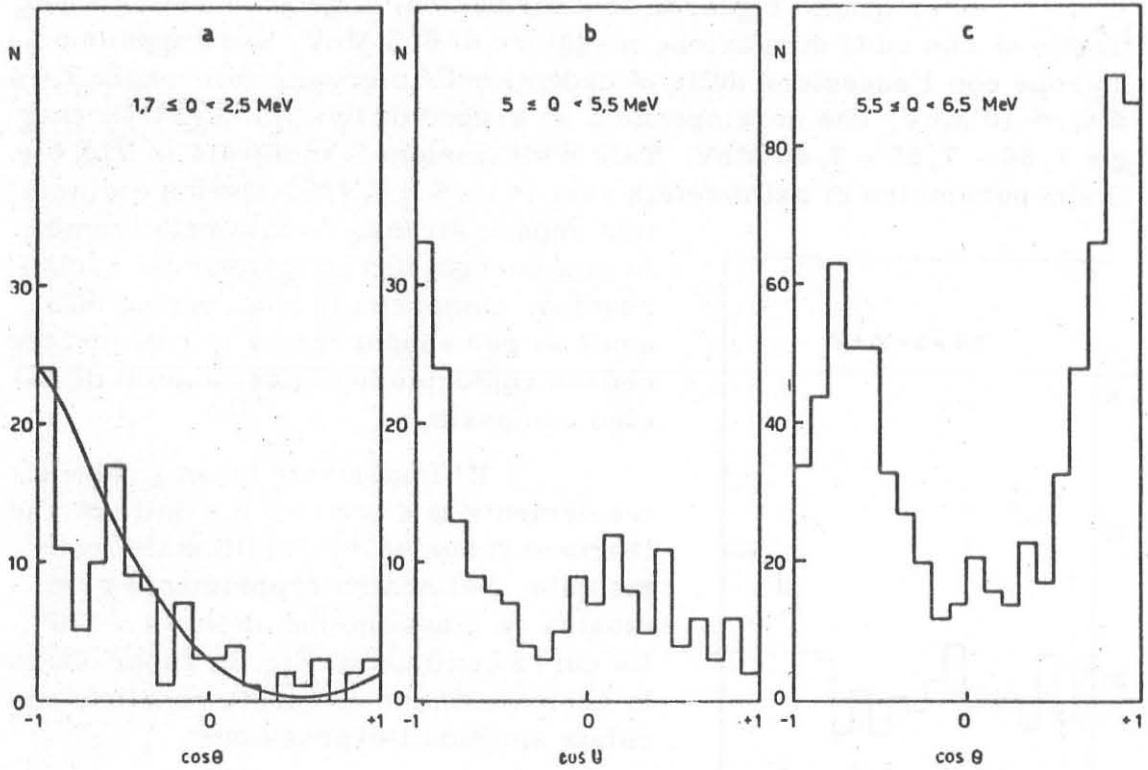


FIG. 3 - Distribuzioni angolari delle particelle α emesse nella reazione $^{16}\text{O}(n\alpha)^{13}\text{C}$ nel sistema del centro di massa, in diversi intervalli del Q.

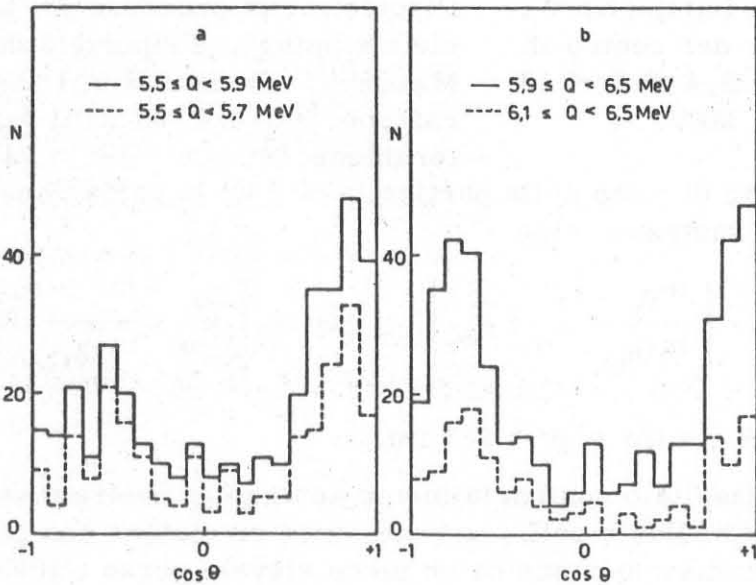


FIG. 4 - Distribuzione angolare delle particelle α , nel sistema del centro di massa, che lasciano il ^{13}C nel 2° e 3° stato eccitato; tentativo di separazione delle α relative ai due livelli.

Per quanto riguarda le distribuzioni angolari relative a particelle α con un Q di reazione maggiore di 6,5 MeV, esse appaiono isotrope con l'eccezione delle α cadenti nell'intervallo di energia $9,4 \leq Q < 10$ MeV, che corrisponde a un gruppo di livelli del ^{13}C di energia 7,50 - 7,55 e 7,68 MeV. Tale distribuzione è mostrata in Fig. 5 e il suo parametro di asimmetria vale $(+15,6 \pm 5,4)\%$. Questa asimmetria appare strana, data la relativamente alta energia di eccitazione del nucleo residuo, compresa in una regione alla quale si può supporre che le reazioni procedano conformemente al modello di nucleo composto.

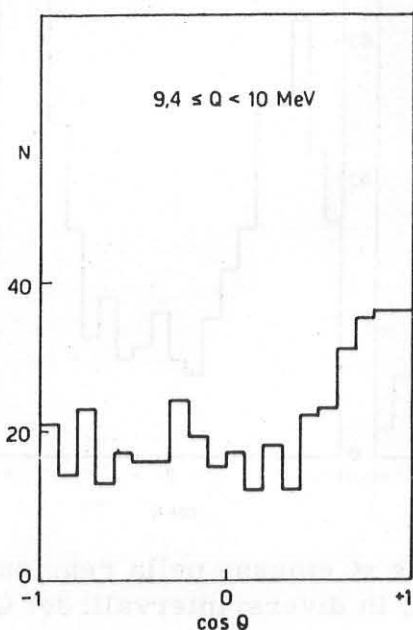


FIG. 5 - Distribuzione angolare delle particelle α , nel sistema del centro di massa, per $9,4 \leq Q < 10$ MeV.

della quantità di moto della particella α e Q' la variazione della quantità di moto del neutrone, cioè

$$Q = \left| \frac{m_\alpha}{m_{16\text{O}}} \vec{K}_n + \vec{K}_\alpha \right|, \quad Q' = \left| \vec{K}_n + \frac{m_n}{m_{13\text{C}}} \vec{K}_\alpha \right|$$

Si è preso $R = 4$ fm e $R' = 2,7$ fm.

Risultato sostanzialmente analogo al nostro è stato ottenuto da Yuin-Chi Hsu e coll., usando come rivelatore una camera a nebbia. La loro distribuzione ha un picco elevato verso i 180° e un picco di ampiezza molto minore a 0° . Anche nella distribuzione data da M. Furst - Reach e H. Munzer⁽⁴⁾, per la transizione allo stato fondamentale, si ha un solo picco all'indietro.

Con questo quadro contrasta il risultato di W. N. Mc Dicken e W. Jack⁽⁵⁾ e quello annunciato recentemente da D. R. Maxon e

E' importante considerare ulteriormente la distribuzione delle α che lasciano il nucleo ^{13}C nello stato fondamentale. Nel nostro esperimento essa mostra un massimo ben definito a 180° . La curva continua di Fig. 3a rappresenta la sezione di urto di questa reazione calcolata secondo l'espressione

$$\frac{d\sigma}{d\omega} = \left| j_0(QR) j_1(Q'R') \right|^2$$

che è stata ricavata da J. S. Blair, nell'ipotesi di un processo di "heavy particle stripping", e riportata da D. R. Maxon⁽⁹⁾. In essa R è il raggio di interazione $^{12}\text{C} - \alpha$ ed R' il raggio di interazione $^{12}\text{C} - n$; Q è la variazione

R. D. Murphy⁽⁷⁾. Mc Dicken e Jack hanno osservato un picco rilevante in avanti, un picco di minore intensità verso i 180° e un picco ancora più debole a 70° (con tecniche elettroniche).

Calcoli su questa reazione sono stati fatti da G. H. Lamot e coll. ⁽¹⁰⁾ nell'intento di interpretare i risultati di Mc Dicken e Jack. Le curve teoriche confermano i valori sperimentali solo grossolanamente, il che è da imputare da una parte ai forti errori di cui questi sono affetti, e in parte alle molteplici approssimazioni nella teoria.

Concludendo, la fenomenologia di questa reazione si presenta complessa. Pare certo che il processo di interazione diretta ha un ruolo importante nel determinare la porzione della reazione con emissione delle particelle α più energiche, e con tutta probabilità i meccanismi di "pick-up" o di "knock-on" e di "heavy particle stripping" sono presenti, ma quale sia il contributo di essi nelle varie transizioni non è ancora accertato. I nostri risultati, portano a concludere, per le transizioni che conducono allo stato fondamentale e al primo stato eccitato del ^{13}C , che il processo dominante sia quello di "heavy particle stripping", mentre certamente, a determinare le distribuzioni angolari relative alle transizioni sui due successivi livelli, concorrono altri meccanismi.

Osserviamo infine che, nella reazione $^{20}\text{Ne}(n\alpha)^{17}\text{O}$ con neutroni di 14 MeV, noi⁽⁸⁾ abbiamo trovato, in una ricerca precedente, una distribuzione angolare delle α di maggiore energia caratterizzata da un massimo a 180° con la direzione dei neutroni. E' evidente la somiglianza tra le due reazioni che, probabilmente, è determinata da analoghe configurazioni di nucleoni alla superficie dei due nuclei ^{16}O e ^{20}Ne .

Ci è gradito qui ringraziare il Sig. G. C. Degli Esposti per la collaborazione tecnica.

BIBLIOGRAFIA. -

- (1) - A. B. Lillie, Phys. Rev. 87, 716 (1952).
- (2) - N. Cindro, I. Slaus, P. Tomas and, B. Eman, Nuclear Phys. 22, 96 (1961).
- (3) - M. L. Chatterjee, Nuclear Phys. 65, 635 (1965).
- (4) - M. Furst-Rauch and H. Munser, Acta Phys. Austr. 20, 300 (1965).
- (5) - W. N. Mac Dicken and W. Jack, Nuclear Phys. 88, 457 (1966).
- (6) - Yuin-Chi Hsu, Chia-Yi Huang and Ching-Ching Chang, Nuclear Phys. A 104, 677 (1967).
- (7) - D. R. Maxon and R. D. Murphy, Bull. Amer. Phys. Soc. 12, 1041 (1967).
- (8) - M. Cevolani, G. Di Caporiacco and S. Petralia, INFN/BE-65/7 (1965); Nuclear Phys. 79, 379 (1966).
- (9) - D. R. Maxon, Phys. Rev. 128, 1321 (1962).
- (10) - G. H. Lamot, C. Fayard, J. N. Massot, E. El Baz and J. Lafoucrière, Nuclear Phys. A 99, 633 (1967).