ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1967
Seria: MATEMATYKA - FIZYKA z. 12 Nr kol. 199

PRZEMYSŁAW MATYJA
Katedra Fizyki B

APARATURA I METODYKA STOSOWANA PRZY BADANIU REAKCJI α,α

Streszczenie. W pracy opisano aparaturę stosowaną przy badaniu reakcji (α,α), zarówno urządzenia pomiarowe znajdujące się na stanowisku cyklotronowym, jak i rejestrującą aparaturę elektronową.

Badania przeprowadzono na jądrach C^{12} oraz Cu i Au. Użyto nisko szumowych liczników półprzewodnikowych. Stosowano "układ czasu aktywnego" oraz układ automatycznego włączania i wyłączania aparatury po zebraniu odpowiedniego materiału statystycznego.

W pracy omówiono metodykę eksperymentów oraz opracowywania wyników. Podano wzory przeliczeniowe dla kątów i energii, pozwalające na przejście od układu laboratoryjnego do układu środka mas.

Wstęp

Badanie reakcji rozpraszania cząstek α okazało się jednym z najbardziej owocnych sposobów otrzymywania informacji o strukturze jąder atomowych. Otrzymano cały szereg danych eksperymentalnych [1, 2] oraz podejmowano próby ich analizy z punktu widzenia różnych modeli. Jednak zadawalającej zgodności teorii z eksperymentem nie osiągnięto, ponieważ istniejące teorie nie są pozbawione niedociągnięć.

W takiej sytuacji pożądane jest otrzymanie możliwie pełnego kompletu danych eksperymentalnych, ogarniających szeroką skalę tarcz, energii padających cząstek i kątów rozproszenia. Z tego powodu badania reakcji (α,α) cieszą się niesłabnącym zainteresowaniem.

Szczególnie słabo zbadana jest zależność różniczkowych przekrojów czynnych elastycznego i nieelastycznego rozpraszania od energii cząstek α.

Omawiana poniżej aparatura była stosowana w Naukowo-Badawczym Instytucie Fizyki Jądrowej przy Wydziale Fizyki Uniwersytetu Moskiewskiego.

Badany zakres energii cząstek α(13÷26 MeV) był uwarunkowany wiązką cyklotronową cząstek i możliwościami aparatury rejestrującej.

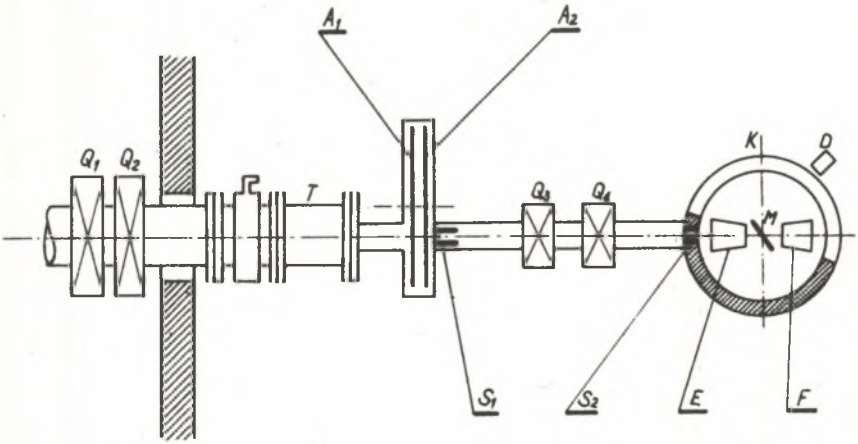
Na wybór jądra C^{12} jako tarczy wpłynęły następujące czynniki:

1) poziomy energetyczne tego jądra są dobrze rozdzielone;

2) w literaturze jest dosyć dużo danych o reakcjach na tym jądrze (przegląd odpowiedniej literatury w pracy [2]) i właśnie dla jądra C^{12} jesteśmy bliscy otrzymania kompletu rezultatów eksperymentalnych po uwzględnieniu wyników danej pracy.

1. Urządzenia pomiarowe

Źródłem cząstek α był cyklotron Instytutu Naukowo-Badawczego Fizyki Jądrowej przy Wydziale Fizyki Uniwersytetu Moskiewskiego.



Rys. 1. Urządzenia pomiarowe w skali eksperymentalnej cyklotronu. Po lewej stronie ściany pomieszczenia cyklotronowe, a po prawej sala eksperymentalna ze stanowiskiem pomiarowym

Dostarczał on cząstek α o energii 26,3 MeV. Układ magnetycznych soczewek kwadrupolowych Q_1 i Q_2 (rys. 1) pozwalał uzyskiwać prądy cząstek α rzędu 40μ A. A oto kilka danych cyklotronu: próżnia 10^{-5} mm Hg, średnica nabiegunników 120 cm,

masa rdzenia elektromagnesu 120 ton, napięcie między duantami 120 kV, moc zużywana przez cyklotron 250 kW, (moc pobierana przez uzwojenie elektromagnesu, moc generatora wysokiej częstości, itd.).

Wiązka cząstek α poprzez rurę T trafiała do komory pomiarowej K. Strumień cząstek α ogniskowano dodatkowo zdalnie sterowanymi magnetycznymi soczewkami kwadrupolowymi Q_3 i Q_4 (prąd rzędu 120 A). W odległości 297 i 52 mm od tarczy umieszczone były miedziane diafragmy S_1 i S_2 warunkujące wiązkę o wymiarach 3 x 6 mm. Ekran ochronny E zatrzymywał cząstki rozproszone przez szczelinę S_2. W miedzianej komorze próżniowej K o promieniu 62 mm znajdowała się szczelina o wysokości 8 mm, pozwalająca mierzyć kąty rozproszenia w zakresie od -20° do $+165^\circ$ względem kierunku wiązki. Szczelina ta była zaklejona błoną ze szkła organicznego o grubości 5μ. W środku pokrywy komory wstawiono na uszczelnieniach Wilsona walec z tarczami. Na ramce walca można było umieścić 3 tarcze M. Położenie ramki zdalnie sterowano, zmieniając jej wysokość i kąt.

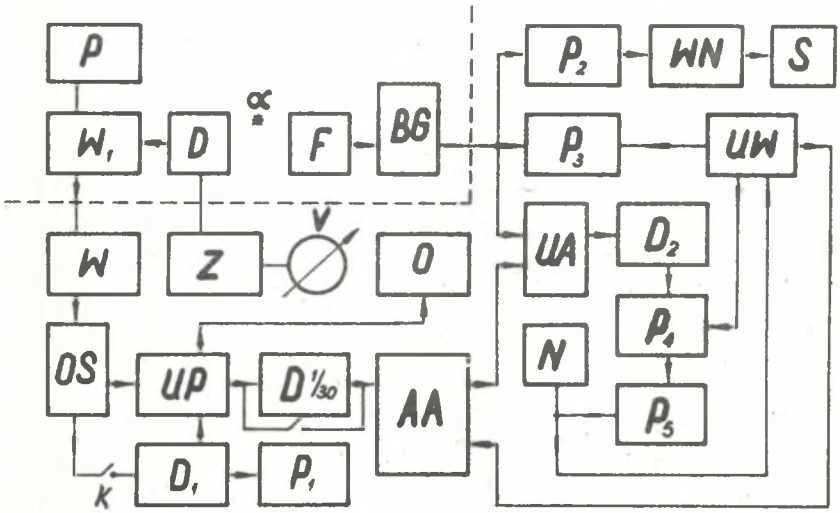
Energia wiązki α była zmieniana przy pomocy aluminiowych pochłaniaczy A_1 i A_2 (grubość jednej płytki $5{,}65\mu$, a wszystkich płytek 360μ). Rozproszone cząstki α rejestrowano licznikiem półprzewodnikowym D. Licznik był ustawiany względem padającej wiązki pod kątem od 20° do 170°. Obrót licznika dookoła komory, zmiana ilości płytek pochłaniających (regulacja energii), a także ustawienie tarczy były zdalnie sterowane z pultu sterowniczego, znajdującego się w sali pomiarowej.

Cała aparatura opisana wyżej, znajdowała się w sali eksperymentalnej cyklotronu. Kąt ustawienia detektora, a także liczbę płytek aluminiowych (warstwę absorbenta) rejestrowały liczniki mechaniczne znajdujące się na pulcie sterowniczym. Dokładność ustawienia kąta detektora wynosiła około 20'.

2. Aparatura rejestrująca

Impulsy od licznika półprzewodnikowego D (rys. 2) trafiały do wzmacniacza wstępnego W_1, znajdującego się w sali ekspery-

mentalnej, tuż obok licznika. Współczynnik amplifikacji wzmacniacza wstępnego wynosił 35, zasilanie od standartowego prostownika P. Rozrzut amplitudowy powstały w wyniku szumów włas-



Rys. 2. Schemat blokowy aparatury rejestrującej. Linią przerywaną oddzielono urządzenia znajdujące się w sali eksperymentalnej, bezpośrednio przy cyklotronie

nych wzmacniacza wstępnego nie przekraczał 15 keV, to znaczy był mniejszy od 0,1% dla rozproszenia elastycznego. Pozostałe elementy aparatury rejestrującej znajdowały się w sali pomiarowej.

Od wzmacniacza wstępnego poprzez przewód wysokiej częstości impulsy trafiały do wzmacniacza głównego W. Na wyjściu wzmacniacza postawiono górny ogranicznik amplitudy szumów OS ze zmiennym progiem ograniczenia do +3V. Maksymalny współczynnik amplifikacji aparatury wyniósł 35 x 15000, zakres przepuszczanych częstości do 1,7 MHz. Wykorzystywano wzmocnienie rzędu 4.10^4.

Następnie sygnały od rozproszonych cząstek α trafiały poprzez układ przepuszczający UP na 100-kanałowy analizator amplitudowy AA typu "Raduga". W czasie pracy dzielnik D 1/30 nie był wykorzystywany. Jako dzielnik służył on podczas pomia-

rów kontrolnych i wówczas zamykano zwieracz K, podłączając tym samym dyskryminator D1 i przelicznik P_1.

Wiązka cząstek α przechodząca przez tarczę trafiała do puszki Faradaya F, połączonej z bloking-generatorem BG i układem przeliczników P_2-P_3 i wzmacniaczem niskiej częstości WN oraz sygnalizatorem dźwiękowym S. Jednemu impulsowi integratora odpowiadał w puszce Faradaya ładunek elektryczny 10^{-5} kulomba.

Z wymienionych przyrządów wg nowych schematów wykonano wzmacniacz wstępny oraz ogranicznik amplitudy, charakteryzujące się niskim poziomem szumów (rzędu 0,2%) i odpowiednim kształtem impulsu (na przednią część impulsu 5 mikrosekundowego przypadał czas 0,2 mikrosekund).

Poza tym zostały zrealizowane dodatkowe układy pomocnicze a mianowicie: "układ czasu aktywnego" UA i układ automatycznego wyłącznika aparatury UW. Omówię zastosowanie "układu czasu aktywnego", ponieważ wydaje się ono dosyć pomysłowe i godne rozpowszechnienia.

Ponieważ różniczkowy przekrój czynny reakcji jest stosunkiem ilości rozproszonych cząstek α do strumienia padających cząstek α, rozpatrzmy obydwie te wielkości. Rozproszone cząstki α były rejestrowane amplitudowym analizatorem, posiadającym swój czas martwy i w związku z tym pewna ilość rozproszonych cząstek α nie była rejestrowana (trafiały do analizatora w jego czasie martwym), tym większa, im większa była intensywność rozproszonych cząstek. Natomiast wiązka cząstek przechodzących przez tarczę była rejestrowana w sposób ciągły - grupowanie się ładunku elektrycznego na puszce Faradaya,działającej na zasadzie kondensatora. Wyniki przekrojów czynnych były więc nierównomiernie zaniżone. Aby zmniejszyć błąd, powstający z tego powodu, należało pracować z mało intensywną wiązką, co z kolei kolosalnie przedłużało czas eksperymentu i uniemożliwiało ekeonomiczne wykorzystanie czasu pracy akceleratora. "Układ czasu aktywnego" wyłączał integrator na przeciąg czasu martwego analizatora. W ten sposób błędy wynikające z istnienia czasu martwego zostały zmniejszone stokrotnie, co pozwoli-

ło pracować z tak dużymi natężeniami wiązki, przy których w czasie martwym trafiała się połowa cząstek rozproszonych. Głównym elementem "układu czasu aktywnego" był układ antykoincydencyjny.

Układ automatycznego wyłączania pozwalał jednocześnie uruchomić całą aparaturę i wyłączyć ją automatycznie po zarejestrowaniu zmiennej nastawianej ilości impulsów na integratorze, bądź systemie przeliczników - dyskryminator D_2, przeliczniki elektronowe P_4 i P_5 oraz numerator mechaniczny N.

Kształt i wielkość impulsów pochodzących od rozproszonych cząstek α obserwowano na oscylografie O.

3. Liczniki półprzewodnikowe i tarcze

Do przyczyn, które wpłynęły na zastosowanie właśnie liczników półprzewodnikowych należy zaliczyć:

1) małe wymiary rzędu kilku mm;
2) prostota konstrukcji i obsługi (niskie napięcia);
3) dobra zdolność rozdzielcza;
4) niski poziom szumów własnych;
5) liniowość w zakresie dużych energii.

Wykorzystano dwa typy liczników: z barierą powierzchniową oraz dryfowe - z dryfem jonów Li7 i grubością warstwy dryfowej 600μ. Dzięki zastosowaniu liczników półprzewodnikowych osiągnięto zdolność rozdzielczą 1÷2% przy napięciach do 300 V regulowanych zdalnie przez zasilacz Z z przyrządem pomiarowym V. Kontrolę liczników przeprowadzano używając do tego celu specjalnego agregatu próżniowo-chłodniczego ze źródłem izotopowym Cm^{242}. Ponadto skonstruowano specjalny uchwyt do liczników półprzewodnikowych, pozwalający stosować dodatkowe diafragmy i absorbenty.

Stosowano następujące tarcze:

1) węglową otrzymaną metodą napylenia w próżni;
2) polistyrolową ze złotem.

Grubość tarcz - 360μ.

Pierwsza tarcza miała niewielką domieszkę miedzi powstałą z częściowego wyparowania elektrody miedzianej, druga natomiast dawała dodatkowy efekt rozproszenia cząstek α na jądrach Au i wodoru.

4. Przebieg eksperymentów

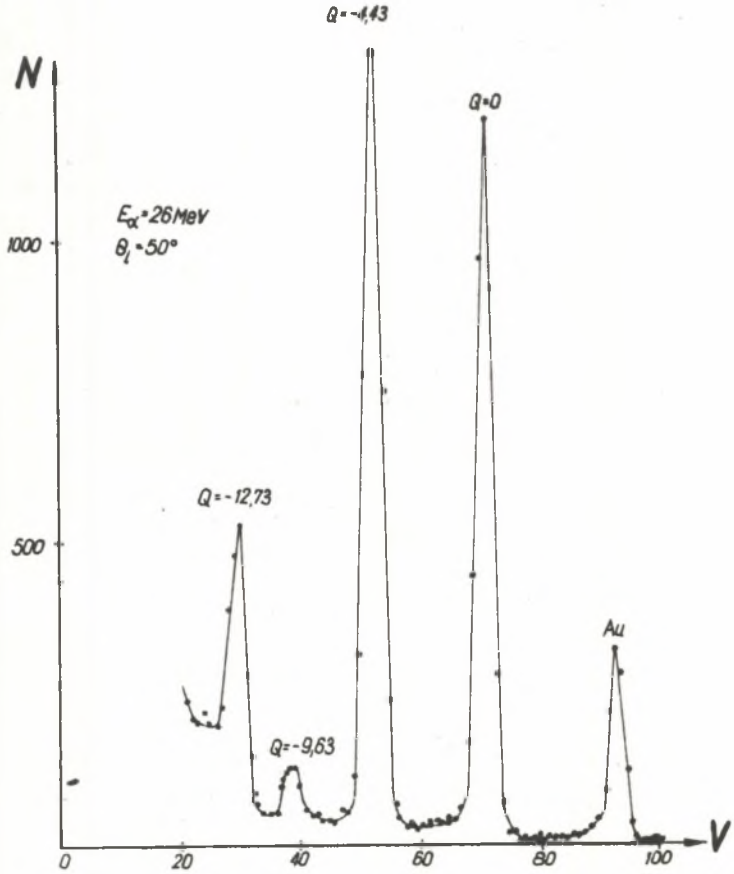
Jeden eksperyment z wiązką cyklotronową trwał 5÷8 godzin, obejmując pomiary rozkładu kątowego lub zdjęcie widma energetycznego. Przed uruchomieniem cyklotronu odbywało się przygotowanie aparatury do pomiarów: odpompowanie komory tarczowej do uzyskania próżni około 10^{-4} mm Hg, kontrola zgodności wskazań mechanicznych liczników na pulcie sterowniczym z rzeczywistymi danymi (położenie tarczy, kąt detektora półprzewodnikowego, płytki redukujące energię wiązki), sprawdzenie działania aparatury rejestrującej rozproszone cząstki α przy użyciu preparatu promieniotwórczego. Kolejne próby sprawnego działania aparatury miały miejsce już z użyciem cyklotronowej wiązki cząstek α. Następnie dokonywano sprawdzających pomiarów dla kilku kątów co 20-30° lub dla kilku energii - co kilka MeV. Celem tych pomiarów orientacyjnych było ustalenie najwygodniejszego cyklu pracy - typu licznika i napięcia na nim, czasu potrzebnego dla uzyskania odpowiedniej statystyki, współczynnika amplifikacji, natężeń prądów płynących przez soczewki kwadrupolowe itd.

Pomiarów rozkładów kątowych dokonywano od małych kątów (20-30°) do dużych (170°) co 5°. Graniczne kąty były uwarunkowane mechaniczną konstrukcją komory tarczowej. Rozkłady energetyczne mierzono od dużych energii (26,3 MeV) do małych (13,7MeV), a interwał wyznaczały płytki aluminiowe (około 0,3 MeV). Górną granicę energii określała energia wiązki cząstek α od cyklotronu, a dolną granicę - możliwości techniczne aparatury rejestrującej i czas przeznaczony na pomiary.

W przypadku zmiany parametrów aparaturowych - wymiany licznika, obrotu tarczy (która była ustawiana pod kątem 45° lub 135° względem wiązki), zmiany współczynnika amplifikacji itp.

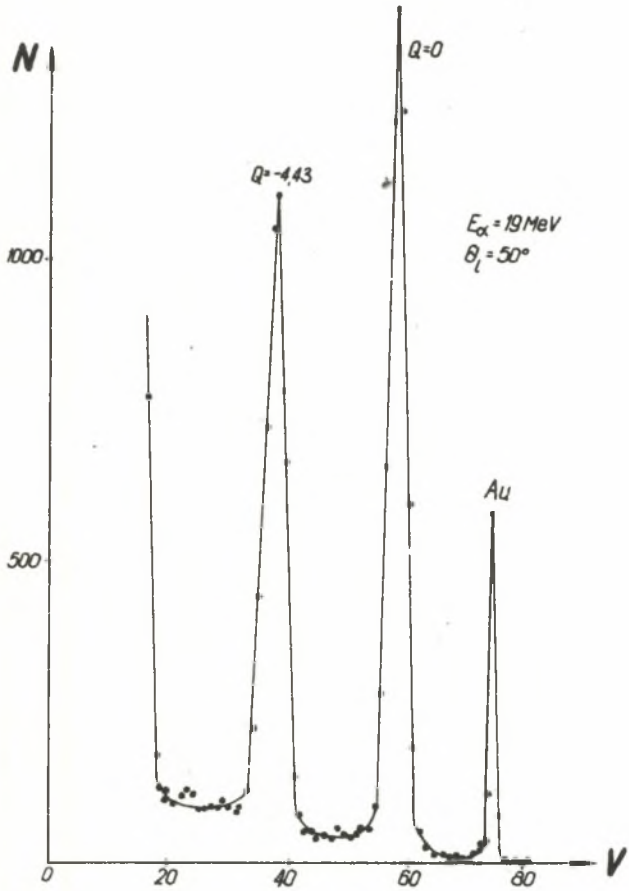
widmo energetyczne mierzono powtórnie i porównywano z poprzednim.

Intensywność wiązki w czasie pracy regulowano przy pomocy kwadrupolowych soczewek magnetycznych Q_3 i Q_4.



Rys. 3. Widmo energetyczne cząstek α o energii 26 MeV rozproszonych pod kątem 50° w układzie laboratoryjnym. Wierzchołek z prawej strony odpowiada elastycznemu rozproszeniu cząstek α jądrami złota, na którym napylono C^{12}. Pozostałe wierzchołki odpowiadają elastycznemu (Q = 0) i nieelastycznemu (Q = -4,43, -9,63, -12,73 MeV) rozproszeniu cząstek α jądrami C^{12}. Na osi poziomej odłożono amplitudę impulsów proporcjonalną do energii cząstek α. Na osi pionowej podano liczbę impulsów

Czas pomiaru określano z warunku nieprzekroczenia 3% błędu statystycznego, (powyżej 1000 impulsów w wierzchołku odpowiadającym danemu poziomowi energetycznemu - patrz rys. 3 i 4). Czas ten wynosił 2-5 minut na jedno widmo, w zależności od intensywności strumienia cząstek rozproszonych. Zapisywanie wyników z pamięci magnetycznej analizatora odbywało się w sposób automatyczny.



Rys. 4. Widmo energetyczne cząstek α o energii 19 MeV rozproszonych pod kątem 50° przez tarczę zawierającą C^{12} i Au. Oznaczenia jak na rysunku 3

5. Opracowywanie wyników

Opracowywanie otrzymanych danych eksperymentalnych sprowadzało się głównie do podliczenia ilości rozproszonych cząstek α, odpowiadających elastycznemu i nieelastycznemu rozproszeniu ($Q = 0; -4,43; -7,66, -9,63, -12,73$ MeV) i odjęciu od nich tła.

Ponieważ tło w sposób naturalny było związane z eksperymentem (powstawało na tarczy - rozproszenie kulombowskie, rozszczepienie C^{12}, obecność wodoru, rozproszone cząstki, promienie γ) i nie można go było oddzielić od liczby rozproszonych cząstek α, nie było możliwości odjęcia tła przy pomocy odpowiedniego układu elektronowego (wzmacniacz różniczkowy). Opracowywanie wyników przeprowadzano dwoma sposobami - graficznym i liczbowym (wykorzystując arytmometry elektryczne). Porównanie obydwu metod dało dobrą zgodność, lecz druga metoda jest bardziej ekonomiczna czasowo.

Całkowite błędy pomiarów (statystyczne i systematyczne - ustawienia kąta, rozrzut energii, martwy czas analizatora, nieliniowość przyrządów, zmiany tarczy i aparatury w czasie eksperymentu) wynosiły średnio 5%, nie przewyższając 10%.

Różniczkowe przekroje czynne przeliczano na układ środka mas wg wzoru:

$$\frac{\sigma^*(\varphi)}{\sigma(\theta)} = \frac{\sin^2\theta}{\sin^2\varphi} \cos(\varphi - \theta) \qquad (1)$$

gdzie: θ - kąt rozproszenia w układzie laboratoryjnym, a φ - kąt rozproszenia w układzie środka mas, $\sigma(\theta)$- różniczkowy przekrój czynny rozproszenia w układzie laboratoryjnym, a $\sigma^*(\varphi)$ - ten sam przekrój w układzie środka mas.

Przejście do kąta rozproszenia w układzie środka mas realizowano, stosując wzór:

$$\cos\varphi = \frac{\frac{m_1}{m_2} tg^2\theta \pm \sqrt{1 + (1 - \frac{m_1^2}{m_2^2}) tg^2\theta}}{1 + tg^2\theta} \qquad (2)$$

gdzie: m_1 - masa cząstki α, m_2 - masa jądra tarczy, kąty θ i φ - jak we wzorze (1).

Energię w układzie środka mas przeliczano wg wzoru:

$$E_i = \frac{m_2}{m_1 + m_2} E_l \qquad (3)$$

gdzie: E_i - energia w układzie środka mas, a E_l - energia w układzie laboratoryjnym.
Maksima widm energetycznych identyfikowano wg następującego wzoru:

$$E = \frac{m_1^2}{(m_1 + m_2)^2} E_\alpha \left[\cos\theta + \sqrt{\frac{(m_1+m_2)^2}{m_1^2} \left(\frac{E_o}{E_\alpha}\right) + \cos^2\theta} \right] \qquad (4)$$

gdzie:

$$E_o = E_{90^o} = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} E_\alpha + \frac{m_2}{m_1 + m_2} Q \qquad (5)$$

We wzorach tych E_α - energia uderzającej α cząstki, E - energia rozproszonej cząstki α, Q - wartość energii odpowiedniego poziomu energetycznego, a pozostałe oznaczenia - jak we wzorach poprzednich. Wzór (4) otrzymano wychodząc z ogólnych założeń teoretycznych kinematyki reakcji jądrowych.

6. Przykładowe wyniki

Na rysunkach 3 i 4 pokazano typowe widma amplitudowe cząstek α rozproszonych pod kątem 50° dla dwóch energii E . Można zauważyć zmniejszenie ilości rozdzielonych wierzchołków odpowiadających poszczególnym poziomom energetycznym jądra C^{12} wraz z przejściem do niższych energii od 4 przy energii 26 MeV do 2 przy energii 10 MeV. Podobny efekt zauważono przy przejściu do większych kątów rozproszeń. Analiza przeprowadzona w oparciu o kinematykę reakcji jądrowych wykazała, że poziom z Q = -7,66 MeV ma mały udział w widmie. Twierdzenie to zostało sprawdzone na przykładzie wielu widm energetycznych i wymaga oddzielnego omówienia.

Wpłynęło do Redakcji 1.II.1967 r.

LITERATURA

[1] Eisberg, Porter: Rev. Mod. Phys., 1961, 33, N 2, 190-230.

[2] Matyja P.: Issliedowanije uprugowo i nieuprugowo rassiejanija α-ozastic jadrami C^{12}. Dipłomnaja rabota, MGU, Moskwa 1964.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ РЕАКЦИИ (α, α)

Р е з ю м е

В работе описывается аппаратура применяемая при исследовании реакции (α,α) - экспериментальная установка на выходе циклотронного пучка и регистрирующая электронная аппаратура. Исследовались ядра C^{12}, Cu и Au. Применены низко-шумные полупроводниковые счётчики. В работе использовались схемы "живого времени" и автаматического включения аппаратуры и её выключения после набора соответствующей статистики. Описывается методика проведения экспериментов и способ обработки результатов. Приведены формулы перевода углов и энергий из лабораторной системы отсчёта в систему центра инерции.

APPARATURS AND EXPERIMENTAL PROCEDURE FOR RESEARCH OF ELASTIC AND INELASTIC SCATTERING OF ALPHA PARTICLES

S u m m a r y

In the paper the apparatus used when examining experimentally the (α,α) reaction is described. This included the counters and register computers. The experiments were carried on the C^{12}, Au and Cu nuclei. Low grund noise semiconductor counters, active time system and automatic switching were used. Finally, the formulae by which one can pass from the laboratory coordinate system to the coordinate system of the mass center are given.