

8/10-17
СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ41.28
Д-401

P15 - 7705

1381/2-74

К. Джанобилов, В.В. Комаров, Морси С.М. Эль-Тахави,
Х.Р. Саад, И.В. Сизов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПИНА И ЧЕТНОСТИ

УРОВНЯ ЯДРА ^{12}C (19,39 МЭВ)

ИЗ АНАЛИЗА РЕАКЦИИ ^{11}B (p, α)

1974

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

P15 - 7705

К. Джанобилов, В.В. Комаров, Морси С.М. Эль-Тахави,
Х.Р. Саад, И.В. Сизов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПИНА И ЧЕТНОСТИ

УРОВНЯ ЯДРА ^{12}C (19,39 МЭВ)

ИЗ АНАЛИЗА РЕАКЦИИ ^{11}B (р, α)

В последние годы реакция $^{11}\text{B}(p, 3\alpha)$ интенсивно изучалась в области малых энергий протонов /1-4/. Настоящая работа является продолжением ранее выполненных нами исследований реакции $^{11}\text{B}(p, 3\alpha)^{5/}$ в области резонанса при $E_p = 3,75 \text{ МэВ}$, что соответствует возбуждению состояния составного ядра ^{12}C с энергией $19,39 \text{ МэВ}$.

Экспериментальные результаты сравниваются с расчетами, выполненными по теории многочастичного рассеяния с учетом попарного взаимодействия всех трех α -частиц, образующихся в конечном состоянии. Такие измерения и анализ для этой области энергий протонов выполнены впервые.

ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперименты проводились на электростатическом генераторе ЭГ-5 Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ. Использовались самоподдерживающиеся мишени из бора толщиной $50 \div 80 \text{ мкг/см}^2$, получаемые путем распыления бора естественного изотопного состава с помощью электронного луча. Регистрация α -частиц осуществлялась кремниевыми полупроводниковыми детекторами. Для измерений двухмерных спектров использовался 4096-канальный анализатор с распределением каналов 64×64 в режиме "амплитуда-амплитуда".

Импульсы от детекторов подавались на предварительные усилители с отдельными трактами усиления. "Медленный" тракт - для измерений спектра, "быстрый" - для отбора совпадений. Отбор совпадений обеспечивался с помощью преобразователя "Время-амплитуда" в пределах $5 \div 12 \text{ нсек}$. Блок-схема экспериментальной аппаратуры показана на рис. 1. Описание методики измерений

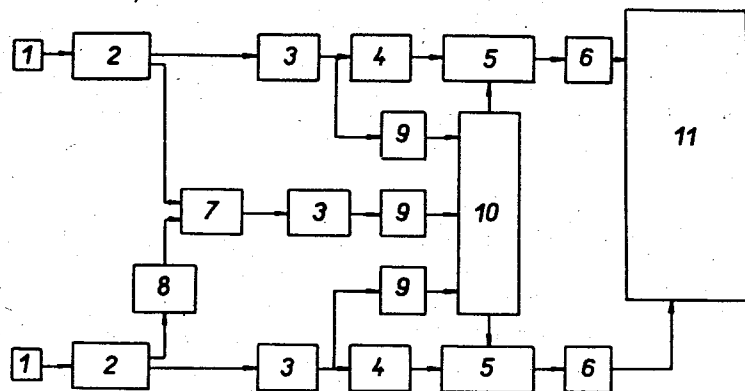


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной аппаратуры. 1 - детекторы, 2 - предварительные усилители, 3 - основные усилители, 4 - экспандерно-пороговые устройства, 5 - линейные схемы пропускания, 6 - эмиттерные повторители, 7 - преобразователь "время-амплитуда", 8 - линия задержки, 9 - дифференциальные дискриминаторы, 10 - схема совпадений, 11 - двухмерный анализатор.

и некоторые детали экспериментальной техники содержатся в работе /5/.

Методом двухмерного анализа измерялись энергетические спектры совпадений двух α -частиц /из трех, образующихся в реакции/ при резонансной энергии протонов $E_p = 3,75$ МэВ для различных комбинаций углов вылета первой α -частицы (Θ_1^l) и второй α -частицы (Θ_2^l): $\Theta_1^l = 70^\circ$; $\Theta_2^l = 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ$.

$\Theta_1^l = 90^\circ$; $\Theta_2^l = 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ$,

$\Theta_1^l = 110^\circ$; $\Theta_2^l = 50^\circ, 60^\circ, 80^\circ$.

Здесь и в дальнейшем в распаде ^{12}C на три α -частицы α -частицу, регистрируемую первым детектором, обозначаем индексом 1, вторым детектором - индексом 2, третью, нерегистрируемую, - индексом 3.

На рис. 2 показан двухмерный спектр α - α -совпадений и его проекции на оси E_{11} и E_2 ; $E_p = 3,75$ МэВ, $\Theta_1^l = 70^\circ$,

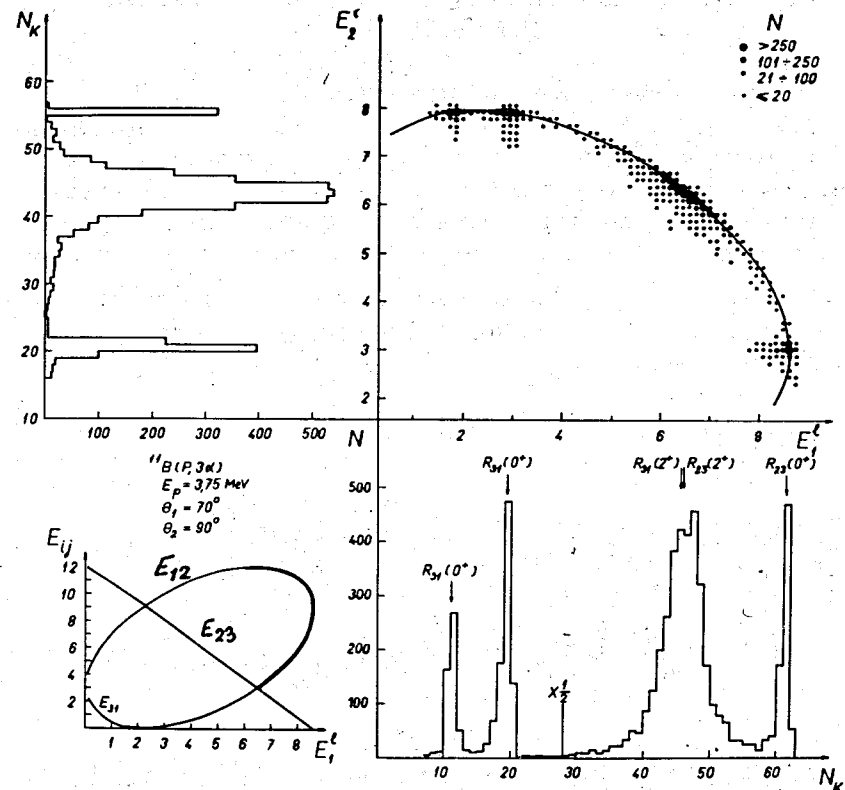


Рис. 2. Двухмерный спектр α - α -совпадений из реакции $^{11}\text{B}(p, 3\alpha)$. N_k - число совпадений в одном канале анализатора. N_k - номер канала, E_{23} , E_{31} , E_{12} - относительные энергии соответствующей пары α -частиц в зависимости от энергии первой α -частицы (E_1^l) $R_{ij}(0^+)$ и $R_{ij}(2^+)$ указывают на положения резонансов взаимодействия пар α -частиц ij в основном (0^+) и первом возбужденном (2^+) состояниях ^8Be . Углы Θ_1 и Θ_2 отсчитываются от направления падающего пучка протонов, Θ_1 - в верхней полусфере, Θ_2 - в нижней.

$\Theta_2^l = 90^\circ$. На экспериментальные точки нанесена расчетная диаграмма Далица. На этом же рисунке внизу слева нанесена кинематика трехчастичной реакции, рассчитанная для данного случая на ЭВМ БЭСМ-6.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Результаты измерений приведены на рис. 3-7.

На основе общей теории многочастичного рассеяния и метода суммирования нерелятивистских диаграмм /6/ был развит подход к изучению многочастичных ядерных реакций, протекающих через стадию образования составного ядра /7-8/. При таком подходе амплитуду реакции $p + {}^{11}\text{B} \rightarrow {}^{12}\text{C} (E^*, J^\pi) \rightarrow 3\alpha$ с учетом попарного взаимодействия всех трех α -частиц в конечном состоянии можно записать в виде:

$$T(E^*, \ell_{23}^*, \ell_{31}^*, \ell_{12}^*) = \text{const } X$$

$$\left\{ \sum_{L_1} [a_{23}(E_{23}) + \sum_{L_2} B_{\ell_{31} L_2} \ell_{31}^* L_1 a_{31}(E_{31}) + \sum_{L_3} B_{\ell_{12} L_3} \ell_{12}^* L_1 a_{12}(E_{12})] + \sum_{L_2} [a_{31}(E_{31}) + \sum_{L_3} B_{\ell_{12} L_3} \ell_{31}^* L_2 a_{12}(E_{12}) + \sum_{L_1} B_{\ell_{23} L_1} \ell_{23}^* L_2 a_{23}(E_{23})] + \sum_{L_3} [a_{12}(E_{12}) + \sum_{L_1} B_{\ell_{23} L_1} \ell_{12}^* L_3 a_{23}(E_{23}) + \sum_{L_2} B_{\ell_{31} L_2} \ell_{12}^* L_3 a_{31}(E_{31})] \right\},$$

где E^* - энергия возбуждения, J^π - спин и четность составного ядра; a_{ij} - двухчастичные амплитуды α - α -взаимодействия; ℓ_{ij} - орбитальный момент относительного движения α -частиц i и j ; L_k - орбитальный момент движения α -частицы с индексом "k" относительно

центра масс α -частиц $i+j$; $B_{\ell_{ij}^*, L_k}$ и $B_{\ell_{ij}^*, L_k}$ - коэффициенты

перехода от базиса, описывающего данную трехчастичную конфигурацию $[(i,j)^*k]$, к базисам, описывающим все возможные состояния двух других конфигураций

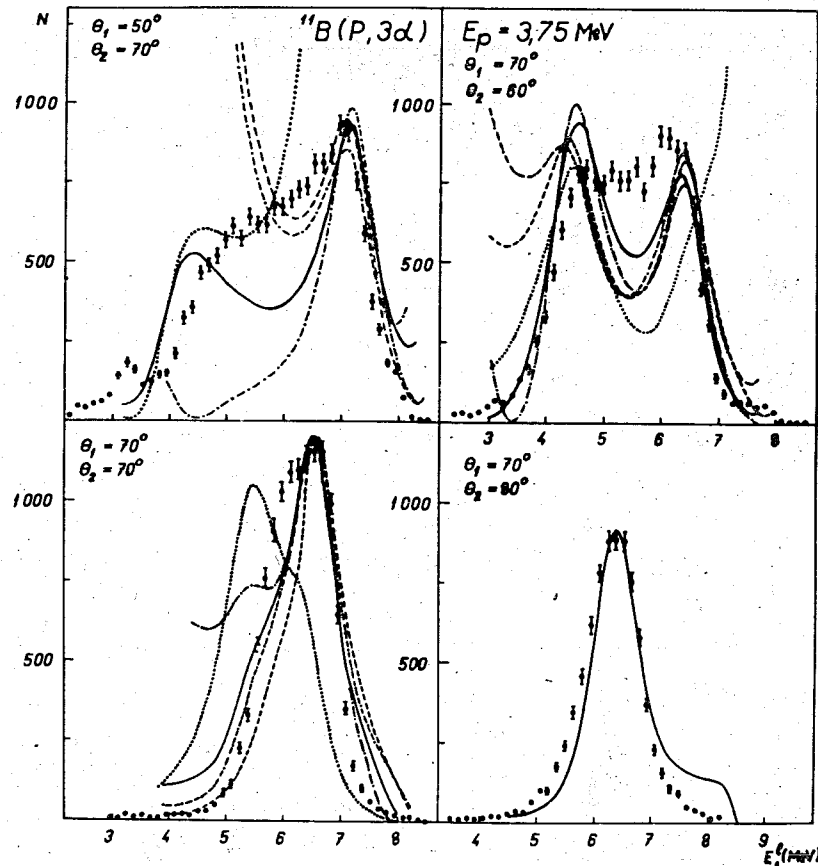


Рис. 3. Спектры совпадений двух α -частиц и расчет сечений для различных значений спина четности ядра ${}^{12}\text{C}$. $J^\pi = 0^+$ - штрих-пунктир; $J^\pi = 1^-$ - пунктир; $J^\pi = 2^+$ - сплошная линия; $J^\pi = 3^-$ - двойной штрих-пунктир; $J^\pi = 4^+$ - штрихованная линия.

$[(j,k)i]$ и $[(k,i)j]$, причем $i, j, k = 2, 3, 1; 3, 1, 2; 1, 2, 3$ /5,8/; E_{ij} - относительная энергия соответствующей пары α -частиц.

Энергетический спектр α - α -совпадений, когда возможно резонансное взаимодействие пар α -частиц в состояниях с определенными орбитальными моментами ℓ_{23}^* ,

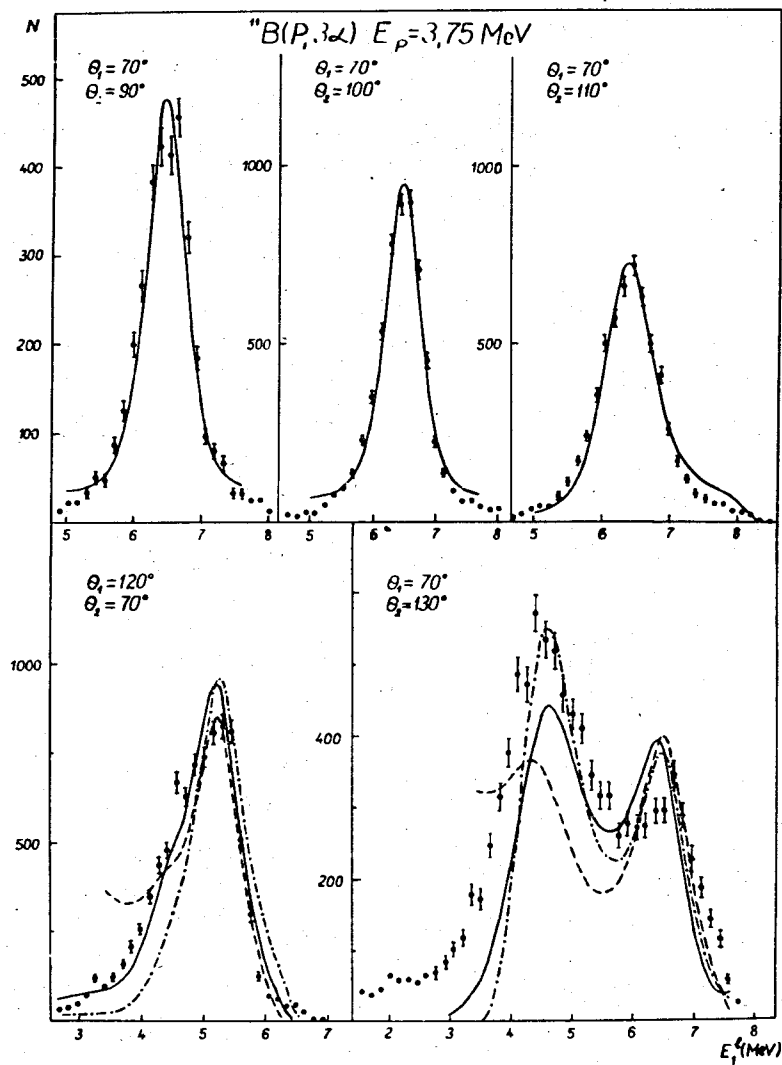


Рис. 4-7. Спектры совпадений двух α -частиц и расчет сечений для различных значений спина и четности ядра ^{12}C . Обозначения расчетных кривых такие же, как на рис. 3.

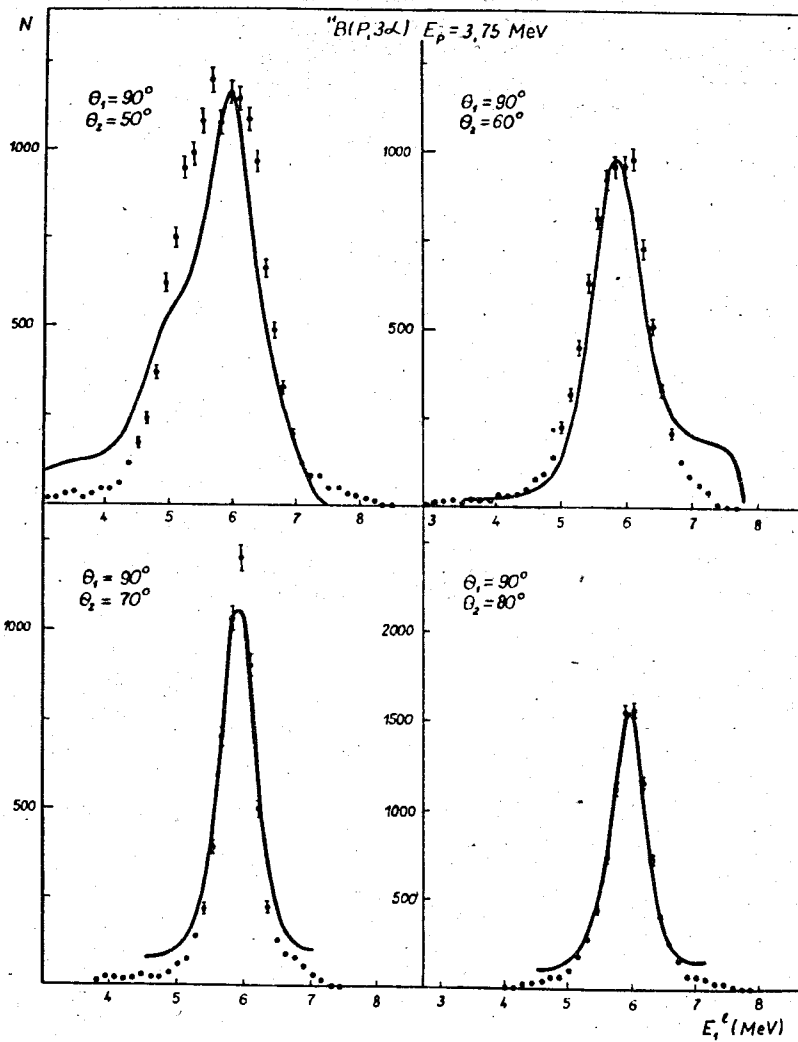
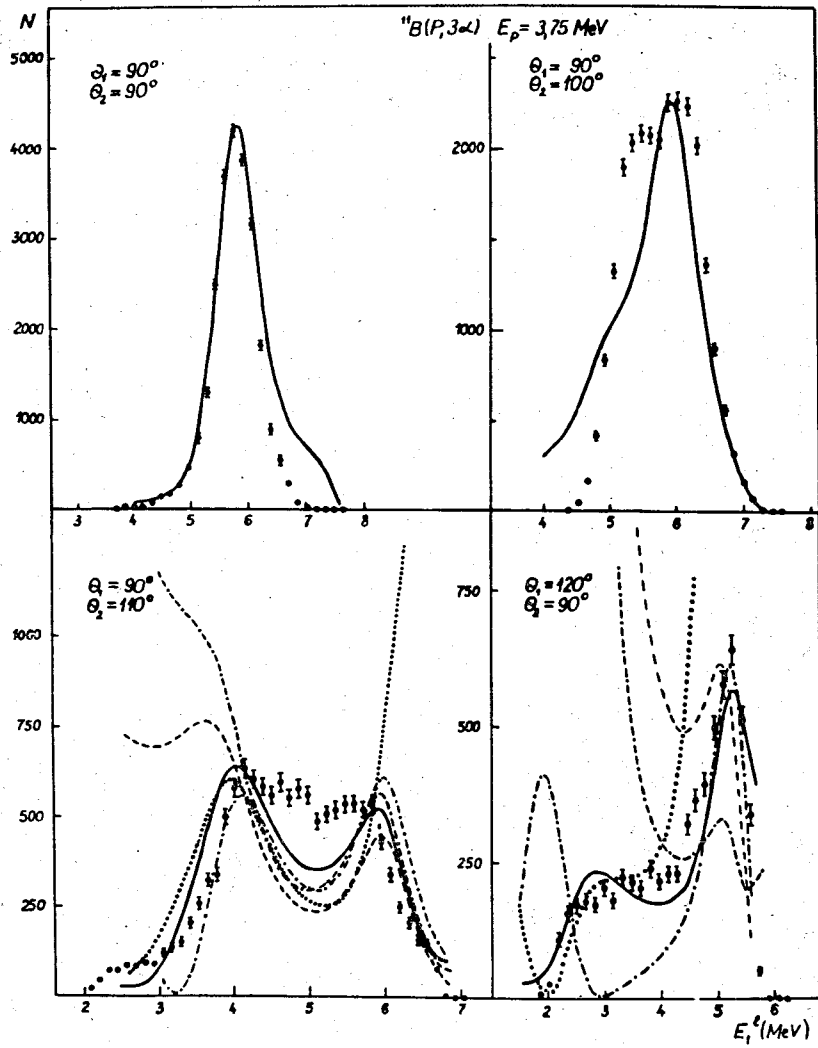
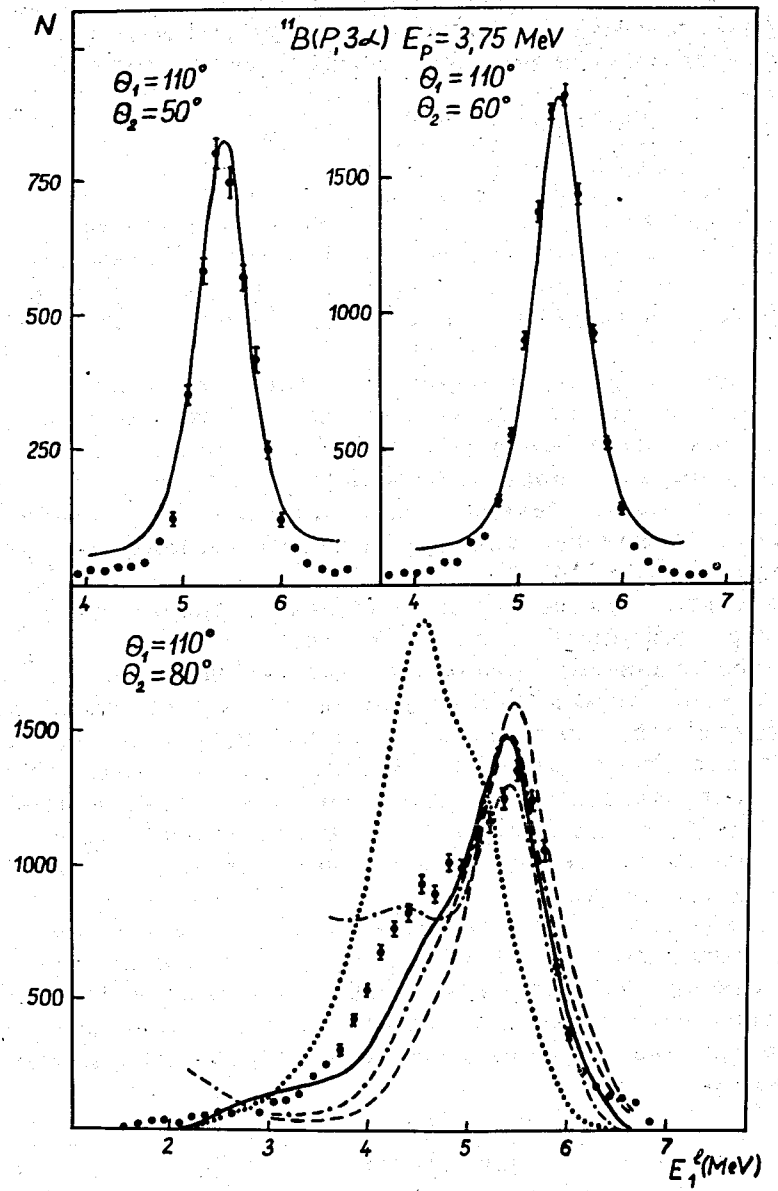


Рис. 5



Puc. 6



Puc. 7

ℓ_{31}^* и ℓ_{12}^* , равными 2 /т.к. первое возбужденное состояние ${}^8\text{Be}$ имеет спин и четность $J^\pi=2^+ /$, рассчитывался по формуле:

$$\frac{d^3 \sigma}{dE_1^{\ell} d\Omega_1 d\Omega_2} = F(PS) |T|^2,$$

где $F(PS)$ - плотность фазового пространства, связанная для данной реакции с элементом фазового объема соотношением, взятым из работы /9/; $d\Omega_1$ и $d\Omega_2$ - элементы телесных углов первого и второго детектора, соответственно.

В области резонансного $a-a$ - взаимодействия в D - состоянии двухчастичные амплитуды a_{ij} брались пропорциональными известному выражению Брейт-Вигнера.

По формулам, приведенным выше, были рассчитаны дифференциальные сечения для различных комбинаций углов Θ_1 и Θ_2 значений спина и четности составного ядра ${}^{12}\text{C} J^\pi=1^-, 2^+, 3^-, 4^+$.

Результаты расчетов сравнивались с экспериментально измеренной формой спектра $a-a$ - совпадений.

Такое сравнение показывает, что выбранная методика расчетов хорошо воспроизводит характер спектра совпадений в предположении значения спина и четности уровня составного ядра /19,39 МэВ/ $J^\pi=2^+$. Хорошее согласие с экспериментом для большого набора комбинаций Θ_1 и Θ_2 , когда форма спектров совпадений существенно меняется, делает определение спина и четности достаточно надежным.

В заключение авторы выражают признательность С.С.Паржицкому, Н.И.Линькову, А.Д.Вороновой, Ф.Ш.Хамраеву за оказанную помощь в проведении экспериментов, группе эксплуатации ЭГ-5 под руководством И.А.Чепурченко - за обеспечение бесперебойной работы ускорителя.

Литература

1. A.Giorni. Nucl.Phys., A144, 146 (1970).
2. W.Von Witsch et al. Nucl.Phys., A180, 402 (1972).
3. G.Goulard. Nucl.Phys., A140, 225 (1970).

4. C.Jacquet et al. Nucl.Phys., A201, 247 (1973).
5. К.Джанобилов, В.В.Комаров, Морси С.М.Эль-Тахави, Х.Р.Саад, И.В.Сизов. Сообщения ОИЯИ, P15-6771, Дубна, 1972.
6. В.В.Комаров. Известия АН СССР, сер.физ., XXIV, 78 /1970/.
7. V.V.Komarov. The Graph Summation Method (GSM) for Multi-particle Nuclear Reactions, Lecture, Institut Sciences Nucleaires, Grenoble, May 1972, ISN 72-04.
8. В.В.Комаров и Морси С.М.Эль-Тахави. Известия АН СССР, сер.физ., XXIII, №1, 215 /1973/.
9. G.G.Ohelsen. Nucl.Instr. and Meth., 37, 240 (1965).

Рукопись поступила в издательский отдел
30 января 1974 года.