

С. Д. КОСТЮЧЕНКОВ, В. М. ЛЕБЕДЕВ, А. В. СПАССКИЙ, И. Б. ТЕПЛОВ

РЕАКЦИЯ $\text{Li}^6(\alpha, d)\text{Ve}^8$ В ОБЛАСТИ E_α ОТ 12 ДО 25 Мэв¹

Измерены угловые и энергетические зависимости дифференциальных сечений реакции $\text{Li}^6(\alpha, d)\text{Ve}^8$ с образованием основного (0^+) и первого возбужденного ($2,9 \text{ Мэв}, 2^+$) состояний конечного ядра. Измерения проведены в интервале углов $\theta_{\text{LAB}}=20-170^\circ$ и в области энергии α -частиц от 12 до 25 Мэв. Предполагается, что основными механизмами исследуемой реакции являются замещение дейтронного кластера α -частицей и срыв тяжелой частицы.

Механизм реакции (α, d) под действием α -частиц с энергией выше нескольких Мэв не может быть объяснен ни в рамках теории образования составного ядра, ни в рамках простейшего прямого процесса, т. е. двунуклонного срыва. Работы по исследованию таких реакций говорят о том, что для описания формы угловых распределений необходимо привлекать более сложные прямые процессы, связанные с развалом ядра мишени. Одной из таких реакций следует считать реакцию $\text{Li}^6(\alpha, d)\text{Ve}^8$. Структурные особенности участвующих в ней ядер позволяют считать, что основную роль в данном случае играют прямые процессы, в которых ядро мишени Li^6 распадается на α -частицу и дейтрон. Для проверки этого предположения необходимы экспериментальные данные об исследуемой реакции в широком диапазоне энергий и углов.

Реакция $\text{Li}^6(\alpha, d)\text{Ve}^8$ изучалась ранее в интервале энергий α -частиц от 10 до 48 Мэв. При энергии α -частиц $E_\alpha=10,15-13,2 \text{ Мэв}$ [1], $14,7 \text{ Мэв}$ [2], $20,5-24,5 \text{ Мэв}$ [3] и 38 Мэв [4] были измерены угловые распределения группы дейтронов, соответствующей основному состоянию ядра Ve^8 . Эта же реакция с образованием основного (группа d_0) и первого возбужденного уровня (группа d_1) ядра Ve^8 исследовалась при $E_\alpha=28,2$ [5], 43 Мэв [6] и 48 Мэв [7]. Однако эти данные не позволяют получить достаточно полной картины об угловой и энергетической зависимости сечения реакции. Поведение сечения реакции $\text{Li}^6(\alpha, d_1)\text{Ve}^8$ ниже 28 Мэв до сих пор не изучалось. Функции возбуждения вообще не исследовались, а угловые распределения измерялись не систематически и, как правило, только на малых и средних углах. Измерения в области больших углов были сделаны только в [3] при $E_\alpha=24,5 \text{ Мэв}$.

¹ Некоторые результаты этой работы были доложены на XIX Всесоюзном совещании по ядерной спектроскопии и структуре ядра.

В настоящей работе приводятся результаты измерения дифференциальных сечений реакции $\text{Li}^6(\alpha, d)\text{Be}^8$ с образованием конечного ядра в основном (0^+) и первом возбужденном ($2,9 \text{ Мэв}, 2^+$) состояниях при энергии E_α от 12 до 25 Мэв.

В эксперименте использовался пучок α -частиц, ускоренных до энергии 25 Мэв на 120-сантиметровом циклотроне НИИЯФ МГУ. Энергия пучка изменялась с помощью тормозящих алюминиевых фольг толщиной 5,65 мк. Альфа-частицы, рассеянные в тормозящих фольгах, фокусировались на мишень короткофокусными магнитными квадрупольными линзами [8]. Мишень помещалась в центре камеры рассеяния $\varnothing 18 \text{ см}$ на расстоянии 90 см от тормозящих фольг. Образующиеся в реакции дейтроны регистрировались $\Delta E-E$ телескопом, состоявшим из двух кремниевых детекторов толщиной 11—50 и 1000 мк. Угловое разрешение телескопа с учетом расходимости падающего на мишень пучка составляло $\leq 4^\circ$. Телескоп мог быть расположен как внутри камеры рассеяния, так и вне ее. В последнем случае частицы, образующиеся в реакции, выходили из камеры рассеяния через щель, заклеенную тонкой (10 мк) лавсановой пленкой. Для идентификации дейтронов из реакций на фоне других заряженных частиц, в основном протонов, была использована запоминающая осциллографическая трубка 13-ЛН5 с «маской». Подробное описание электронной части методики разделения частиц по массам приведено в [9]. Использованные телескопы и методика идентификации частиц по массам позволили надежно регистрировать дейтроны с энергией выше 1,5 Мэв.

Мишени толщиной 0,3—0,4 мг/см² изготовлялись термическим распылением в вакууме углекислого лития, обогащенного изотопом Li^6 до 92%, на подложку из серебра или золота толщиной 0,25 мг/см².

Разброс энергии бомбардирующих α -частиц в мишени составлял 0,3 и 0,5 Мэв для $E_\alpha = 25 \text{ Мэв}$ и 15 Мэв соответственно, причем основной вклад давал разброс, обусловленный немонохроматичностью пучка частиц из циклотрона. Абсолютное значение энергии бомбардирующих α -частиц определялось по положению резонанса в функции возбуждения реакции $\text{C}^{12}(\alpha, p_0)\text{N}^{15}$ при $\vartheta_{\text{лаб}} = 160^\circ$, полученному в [10] при $E_\alpha = 21,7 \text{ Мэв}$. В этой работе энергия α -частиц была определена с точностью 200 кэв из измерения пробега α -частиц, рассеянных на золоте. Точность измерения энергии в нашем эксперименте того же порядка.

Статистические ошибки измерения дифференциальных сечений реакции $\text{Li}^6(\alpha, d_0)\text{Be}^8$ в большинстве случаев не превышали 10%. Ошибки измерения сечения для группы d_1 несколько больше ($\sim 15\%$), так как эта группа находится на фоне непрерывного спектра дейтронов из реакций $\text{Li}^6(\alpha, da)\text{He}^4$ и $\text{Li}^6(\alpha, \alpha)\text{Li}^6 \rightarrow \alpha + d$.

Абсолютные значения сечений определены с точностью $\sim 30\%$, (это связано в основном с точностью измерения толщины мишени и неопределенностью ее состава).

Измеренные функции возбуждения реакции приведены на рис. 1. Измерения проводились в области углов вылета дейтронов $\vartheta_{\text{лаб}} = 20-70^\circ$. Получены также кривые возбуждения в задней полусфере при $\vartheta_{\text{лаб}} = 130$ и 170° (минимум и максимум сечения в угловом распределении группы d_0). Кривые, приведенные внизу рисунка, получены интегрированием дифференциальных сечений по углам вылета дейтронов в области от 20 до 70° в исследованном интервале энергий. Зависимость дифференциального сечения от угла вылета дейтронов для разных энергий, найденная из измеренных функций возбуждения в пе-

редней полусфере, представлена на рис. 2 и 3. Угловые распределения дейтронов, измеренные в более широком интервале углов с шагом

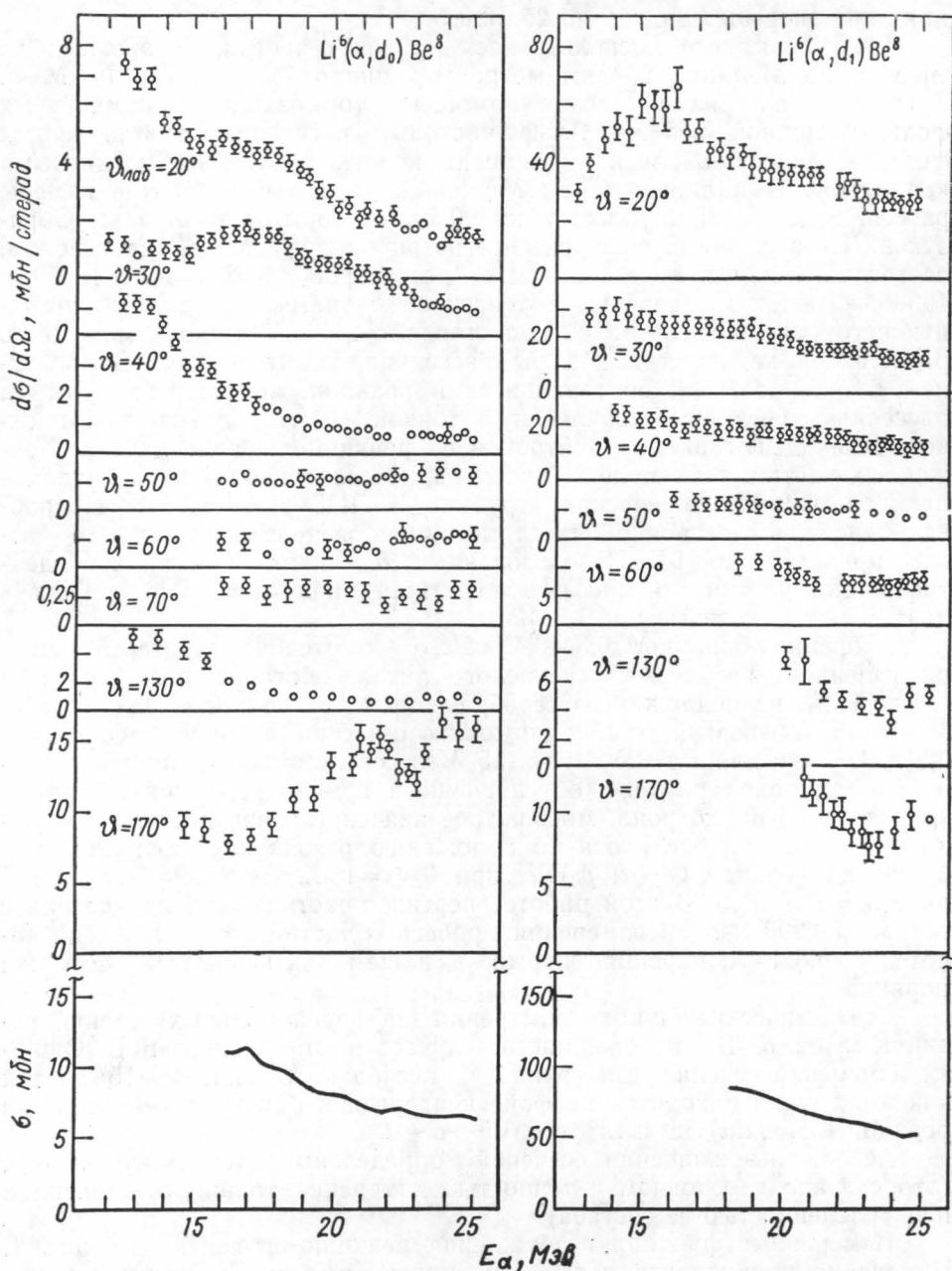


Рис. 1. Функции возбуждения реакции $\text{Li}^6(\alpha, d)\text{Be}^8$ при различных углах вылета дейтронов в л. с., указанных около соответствующих кривых. Показаны статистические ошибки, большие размера точек. Внизу — интегральные сечения вылета дейтронов в интервале углов измерения в передней полусфере

2—5°, показаны на рис. 4. Измерения проведены в области $\vartheta_{\text{лаб}} = 15\text{—}170^\circ$ при $E_\alpha = 17,3, 23,3$ и $25,1$ Мэв, кроме группы d_1 ,

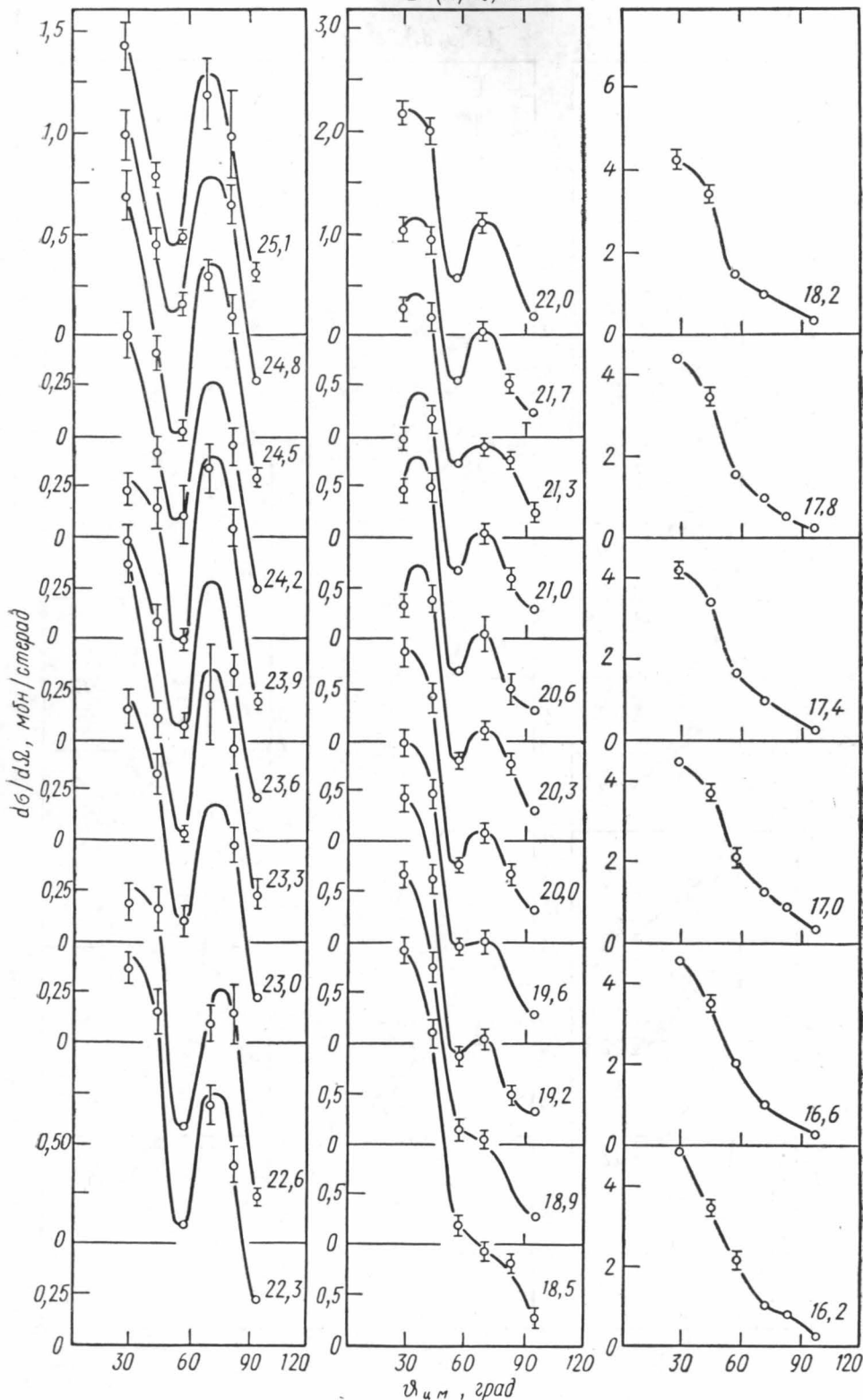
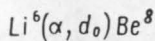


Рис. 2. Угловые распределения дейтронов из реакции $\text{Li}^6(\alpha, d)\text{Be}^8$ при различных энергиях E_α , указанных вблизи соответствующих кривых в Мэв. Показаны статистические ошибки

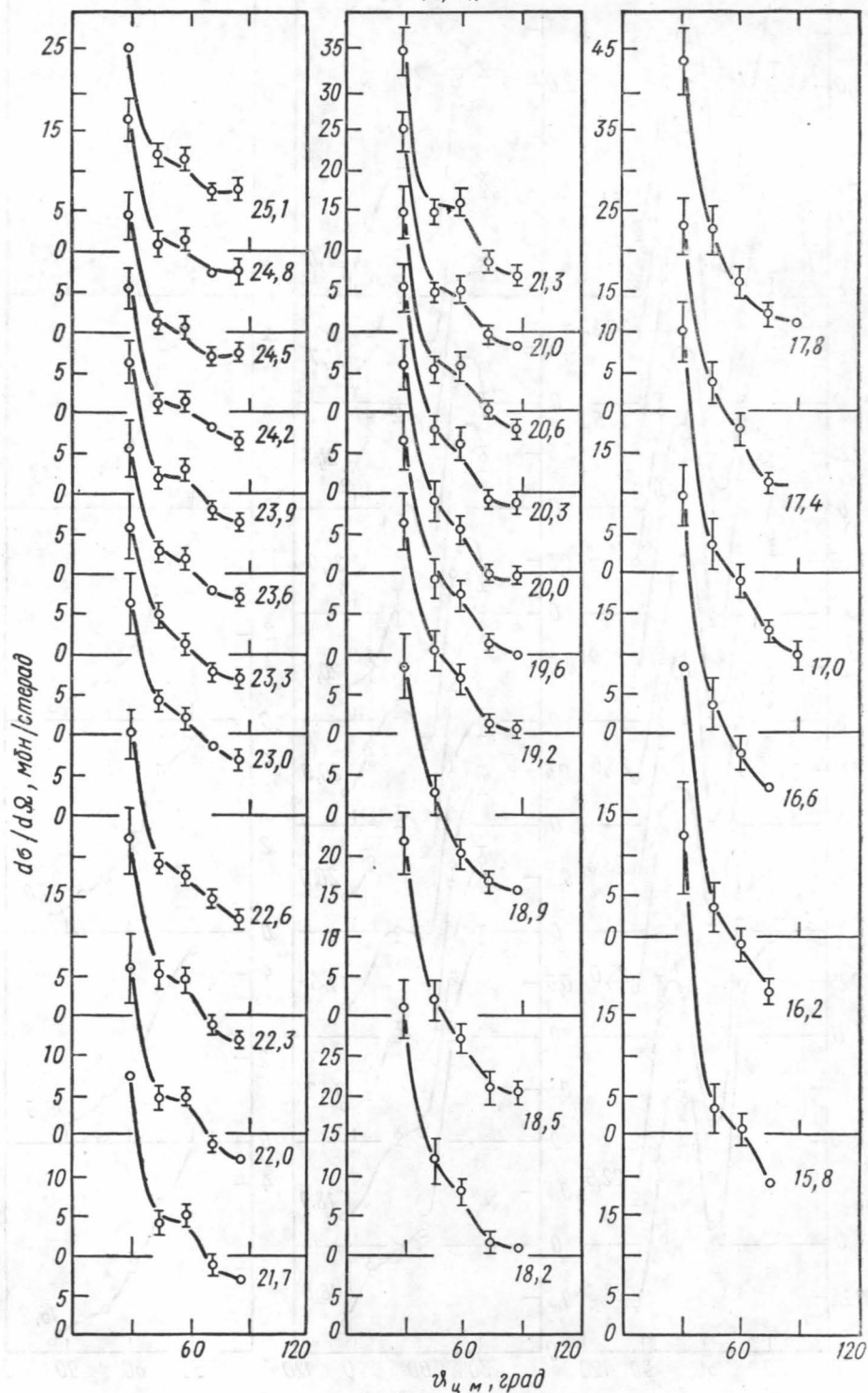
$Li^6(\alpha, d) Be^8$ 

Рис. 3. Угловые распределения дейтронов из реакции $Li^6(\alpha, d)$. Показаны статистические ошибки

для которой угловое распределение при $E_\alpha=17,3$ Мэв измерено до 80° . В таблице приведены сечения исследуемой реакции, полученные интегрированием угловых распределений в интервале углов $0-180^\circ$.

Наши результаты хорошо согласуются с угловыми распределениями группы d_0 , полученными при близких значениях энергии в ра-

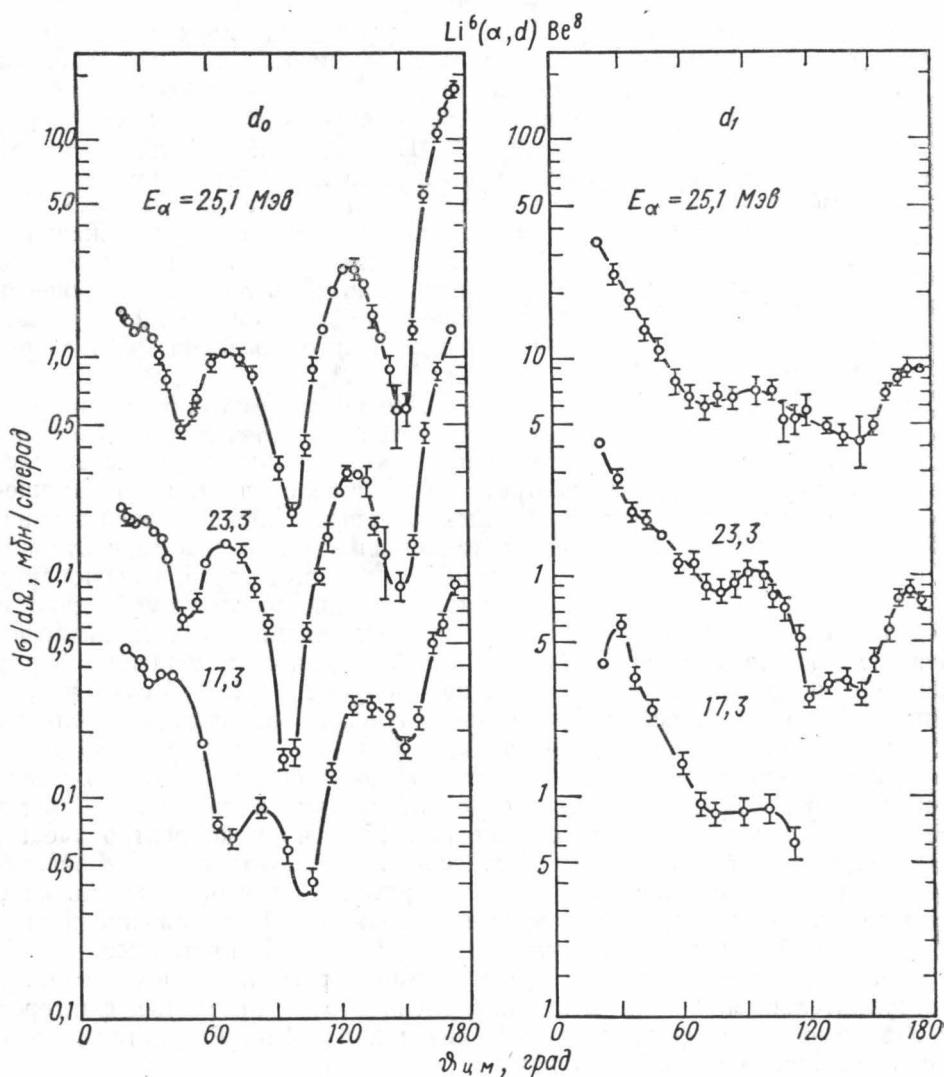


Рис. 4. Угловые распределения дейтронов из реакции $\text{Li}^6(\alpha, d)\text{Be}^8$ при значениях энергии α -частиц, указанных вблизи соответствующих кривых. Показаны статистические ошибки

ботах [1—3], за исключением того, что при $E_\alpha=24,5$ Мэв в [3] отсутствует относительно глубокий минимум при $\varphi_{ц.м.}=150^\circ$, наблюдающийся в наших измерениях. Неоднократные измерения, проведенные в разных условиях при значениях энергии 25,1 и 23,3 Мэв, и данные рис. 1 показывают, что этот минимум сохраняется в широком диапазоне энергии.

Представленные угловые распределения дейтронов имеют хорошо выраженную дифракционную структуру для группы d_0 и резкий подъем к малым углам для группы d_1 . В угловых распределениях при углах, близких к 180° , наблюдается сильный подъем сечения для группы d_0 и несколько меньший для группы d_1 . Форма измеренных угловых распределений слабо зависит от энергии во всей исследованной области. Эти черты угловых распределений являются характерными для прямых процессов. Сечения дифференциальных и интегральных функций возбуждения в основном уменьшаются с ростом энергии и имеют слабо выраженные немонотонности. Это указывает на незначительный вклад в реакцию процессов, отличных от прямых.

Интегральные сечения σ , мбн ($0-180^\circ$)
реакции $\text{Li}^6(\alpha, d)\text{Be}^8$

Группа	$E_\alpha, \text{МэВ}$		
	25,1	23,3	17,3
d_0	16	18	23
d_1	110	123	—

Проведенный анализ угловых распределений дейтронов из реакции $\text{Li}^6(\alpha, d)\text{Be}^8$ при $E_\alpha=25 \text{ МэВ}$ с использованием приближения с плоскими волнами, а также метода искаженных волн для процесса кластерного срыва не дал удовлетворительного согласия с экспериментом [11].

Поскольку в этой реакции предпочтительнее развал рыхлого ядра мишени Li^6 , чем α -частицы, то из простейших прямых процессов следует в первую очередь рассмотреть срыв тяжелой частицы и замещение дейтронного кластера α -частицей. Первый процесс качественно объясняет подъем сечений в области больших углов вылета дейтрона, а второй должен быть основным в области малых углов. Обоснование выбора этих механизмов в реакциях, подобных исследуемой, дано в работе [12]. В области средних углов естественно ожидать интерференцию этих двух механизмов. Процесс кластерного замещения может играть существенную роль и в задней полусфере [13], если учесть анизотропию $\alpha-d$ -рассеяния в четырехлучевой вершине треугольной диаграммы, описывающей процесс замещения.

Для анализа полученных результатов следует не только уметь рассчитывать эти процессы в отдельности (что в настоящее время возможно в рамках плоских волн [14, 15]), но и корректно учесть: 1) интерференцию различных процессов, 2) анизотропию $\alpha-d$ -рассеяния в процессе замещения, 3) вклад других процессов, связанных с взаимодействием частиц в конечном состоянии и 4) искажение волновых функций падающей и вылетающей частиц. В настоящее время провести полный анализ для исследуемой реакции представляется затруднительным, однако возможно оценить роль отдельных факторов в зависимости дифференциального сечения от угла. Результаты этого исследования будут опубликованы.

Авторы благодарны О. И. Васильевой за изготовление мишеней, О. В. Пороховой за помощь в обработке результатов, а также благодарят бригаду циклотрона за хорошую работу ускорителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стародубцев С. В., Макарюнас К. В. ДАН СССР, 129, 547, 1959.
2. Константинова М. П., Мякнин Е. В., Петров А. М., Романов А. М. ЖЭТФ, 43, 388, 1962.
3. Deconninck G., Demortier G. Phys. Lett., 7, 260, 1963.
4. Demortier G., Deconninck G. Comp. rend. Congress Intern. Phys. Nucl. Paris, 1964, v. 2, p. 795.

5. Wegner H. E., Hall W. S., Miller D. W. Conf. on Direct Interact. and Nucl. React Mechan., Padua (Italy) 1962, p. 1004.
6. Zeidman B., Yntema J. L. Nucl. Phys., **12**, 298, 1959.
7. Segny J., Harvey B. G., Pehl P. H. Nucl. Phys., **29**, 120, 1962.
8. Теплов И. Б., Фатеева Л. Н. «Приборы и техника эксперимента», № 6, 45, 1965.
9. Аль Джауахири А. У., Зазулин В. С., Костюченков С. Д. и др. «Приборы и техника эксперимента», № 5, 142, 1967.
10. Теплов И. Б., Фатеева Л. Н. ЖЭТФ, **48**, 385, 1965.
11. Бурьмов Е. М., Гриднев К. А., Карабанов Н. В. и др. «Изв. АН СССР», сер. физич., **35**, 159, 1971.
12. Зелинская Н. С., Теплов И. Б. Программа и тезисы докладов XXII Ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. ч. II. Л., 1972, стр. 128.
13. Tanifuji M. Nucl. Phys., **49**, 456, 1963.
14. Зеленская Н. С., Магзумова В. С., Неудачин В. Г. и др. «Ядерная физика», **6**, 66, 1967.
15. Теплов И. Б. «Изв. АН СССР», сер. физич., **35**, 154, 1971.

Поступила в редакцию
23.6 1972 г.

НИИЯФ
