

Центр. биол. осн

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

С 343

С-159

15 - 4799

С.Б. Сакута

РЕАКЦИЯ (${}^6\text{Li}, \alpha$) НА ЛЕГКИХ ЯДРАХ

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в ордена Ленина Институте атомной энергии им. И.В.Курчатова

Научный руководитель

кандидат физико-математических наук А.А.Оглоблин

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук В.Г.Неудачин

кандидат физико-математических наук В.В.Волков

Ведущее предприятие: Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ им. М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан " " 1969 г.

Защита диссертации состоится " " 19 г. на заседании Объединенного Учёного совета Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Учёный секретарь Совета

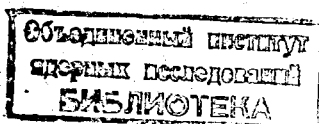
15 - 4799

С.В. Сакута

РЕАКЦИЯ (${}^6\text{Li}, \alpha$) НА ЛЕГКИХ ЯДРАХ

Специальность 055 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук



Интерес к реакциям передачи многих нуклонов, особенно сильно проявляющийся в последнее время, связан, главным образом, с возможностью получения информации о многочастичных состояниях ядер, которая не может быть получена другим способом. Изучение реакции передачи двух нуклонов может дать, например, сведения о характеристиках двухчастичных состояний ядер, о схеме ядерной связи и потенциале остаточного нуклон-нуклонного взаимодействия. Изучение реакций, в которых передаваемой частицей является дейтрон, поможет, кроме всего, прояснить ситуацию с ассоциированием в ядрах, в частности, вопрос о возможном существовании в ядрах дейтронных состояний. Однако для того, чтобы понять, какого типа информация может быть получена в результате исследования той или иной реакции, нужно прежде всего изучить ее механизм.

До последнего времени передача пары нейтрон-протон наиболее широко исследовалась в реакциях ($^3\text{He}, p$) и (α, d). Но наибольший интерес в свете полученных за последние годы данных о кластерной структуре ядер представляет изучение реакции ($^6\text{Li}, \alpha$).

Из многочисленных теоретических и экспериментальных данных ^{1/1} известно, что ядро ^6Li имеет ярко выраженную кластерную структуру ($^6\text{Li} = \alpha + d$). с очень малой энергией связи по отношению к развалу ядра лития на α -частицу и дейтрон ($\epsilon_{\text{св}} = 1,47$ Мэв). В связи с этим можно ожидать,

что при взаимодействии с другими ядрами ${}^6\text{Li}$ будет вести себя точно так же, как и дейтрон, т.е. одним из основных процессов является реакция срыва, с той лишь разницей, что вместо передачи нуклона ядру мишени произойдет передача дейтронной ассоциации. В этом случае в реакции (${}^6\text{Li}, \alpha$) должно происходить преимущественное возбуждение дейтронных состояний. Исследование дейтронных состояний с помощью других реакций, например (α, d), затруднено, во-первых, потому, что в α -частице маловероятно существование готового дейтронного кластера, во-вторых, заранее неясен сам механизм передачи нейтрона и протона. На языке дисперсионной теории^{12/} это означает, что в реакции (α, d) трудно выделить конкретную диаграмму данного процесса. В этом отношении реакция (${}^6\text{Li}, \alpha$) может иметь большое преимущество. Из-за малости энергии связи дейтрона в ядре ${}^6\text{Li}$ полюсная особенность, отвечающая простейшему механизму срыва, может лежать весьма близко к физической области, так же, как и полюса в реакциях (d, p) и (d, n).

До последнего времени реакция (${}^6\text{Li}, \alpha$) изучалась на генераторах Ван-де-Граафа при энергиях лития 2-6 Мэв, сравнимых с высотой кулоновского барьера (например, для ${}^{16}\text{O}$ его высота составляет примерно 5,5 Мэв)^{13/}. Анализ реакций при таких энергиях сильно осложняется существенным вкладом механизма образования составного ядра. Кроме всего, малая энергия лития ограничивает как диапазон возможных ядер мишеней, так и диапазон энергий возбуждения конечных состояний ядер. Поэтому спектроскопическая ценность реакций существенно ограничена.

Ускорение ионов лития до больших энергий на циклотронах и тандемах связано с серьезными техническими трудностями. В результате этого реакция (${}^6\text{Li}, \alpha$) при энергиях ионов лития, значительно превышающих кулоновский барьер, изучена не была.

Опыты по ускорению ионов лития на циклотроне Института атомной энергии начались в 1964 г и привели к созданию эффективного источника двух и трехзарядных ионов лития^{14/}. Первые эксперименты по изучению реакции (${}^6\text{Li}, \alpha$) были проведены в конце 1965 г^{15, 6/}.

Целью настоящей работы было исследование реакции (${}^6\text{Li}, \alpha$) при энергии ионов лития около 25 Мэв. Основной задачей эксперимента являлось получение данных о механизме реакции. Исследование производилось на ядрах-мишенях ${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{14}\text{N}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{24}\text{Mg}$. Для получения возможно более полной информации о механизмах передачи нейтрона и протона параллельно исследовались реакции (${}^3\text{He}, p$) и (α, d) там, где ощущался недостаток литературных данных.

Работа выполнялась на выведенном пучке полутораметрового циклотрона Института атомной энергии им. И.В.Курчатова. Использовались пучки ${}^6\text{Li}$ с энергией около 25 Мэв, ${}^3\text{He}$ - 16 Мэв и α -частиц - 36 Мэв. Пучок ионов, ускоренных на циклотроне, разворачивался магнитом и фокусировался с помощью квадрупольной линзы на мишени, находящейся в вакуумной камере рассеяния. Пучок, пройдя через мишень, попадал в цилиндр Фарадея, соединенный с интегратором тока. Продукты реакции, вылетающие из мишени, регистрировались детектором, крепившимся на верхней подвижной крышке камеры рассеяния. Конструкция камеры рассеяния позволяла плавно менять угол детектора по отношению к пучку в пределах от 0 до 150° без нарушения вакуума. Поворот детектора и смена мишени осуществлялись дистанционно.

Мишени, в основном, представляли собой тонкие фольги, укрепленные на рамках размером $22 \times 16 \text{ мм}^2$, плоскость которых могла поворачиваться относительно оси пучка.

При регистрации интересующих нас продуктов реакции использовался метод идентификации, основанный на одновременном измерении двух параметров детектируемой частицы ΔE и E .

В качестве ΔE -детектора использовалась прострельная ионизационная камера с сеткой. Для измерения энергии применялся полупроводниковый счётчик с шириной чувствительной зоны около 3 мм. Для проведения анализа двумерного спектра в координатном пространстве $\Delta E-E$ и выделения интересующих нас сортов частиц использовалась система многомерного анализа, построенная на базе двух анализаторов типа АИ-4096 и программируемая с помощью светового карандаша ^{17/}. Энергетические спектры продуктов реакций α -частиц, протонов и дейтронов измерялись в широком диапазоне углов от 0 до 150°. Точность определения положения линии в спектре составляла 150 кэв. Энергетическое разрешение в реакциях с литием, в основном, определялось толщиной мишени и составляло в большинстве случаев 600 кэв. В реакциях ($^3\text{He}, p$) и (α, d) разрешение было 200 кэв. Абсолютная величина сечения измерялась с точностью не хуже 30%. Измеренные спектры, как правило, отвечали большому диапазону энергии возбуждения остаточных ядер, вплоть до энергии возбуждения 20-25 Мэв. Исследовавшиеся реакции сведены в таблицу.

Основной результат работы состоит в том, что впервые изучена передача дейтрона в реакции ($^6\text{Li}, \alpha$) при энергиях лития, значительно превышающих кулоновский барьер. Получены новые экспериментальные данные о механизме реакций ($^6\text{Li}, \alpha$), ($^3\text{He}, p$) и (α, d).

Полученный экспериментальный материал позволяет сделать следующие выводы о механизме реакций:

1. Угловые распределения α -частиц и протонов в реакциях ($^6\text{Li}, \alpha$) и ($^3\text{He}, p$) имеют характерную для прямых процессов направленность вперед, а для групп, соответствующих переходам в отдельные состояния конечного ядра, -хорошо выраженную дифракционную структуру. Положение главного максимума в угловых распределениях обнаруживает зависимость от величины передаваемого орбитального момента L , допустимого правилами отбора в механизме прямой передачи двух нуклонов,

Таблица

Мишень	Реакция ($^6\text{Li}, \alpha$)		Реакция ($^3\text{He}, p$)		Реакция (α, d)	
	$E_{^6\text{Li}}$ Мэв	Углы Что исследовалось	$E_{^3\text{He}}$ Мэв	Углы Что исследовалось	E_{α} Мэв	Углы Что исследовалось
^6Li	26	0-50° Энергетические спектры	16	0-50° Энергетические спектры	-	-
^7Li	26	0-60° Энергетические спектры	16	0-60° Энергетические спектры	-	-
^9Be	26	0-150° Энергетические спектры и угловые распределения	16	0-150° Энергетические спектры и угловые распределения	36	0-50° Энергетические спектры
^{12}C	24,5 и 25,7	0-150° Энергетические спектры и угловые распределения	16	0-150° Энергетические спектры и угловые распределения	-	-
^{14}N	36	12° Энергетический спектр	-	-	-	-
^{16}O	24	15° Энергетический спектр	-	-	-	-
	26	0-40° Энергетические спектры и угловые распределения	16	0-70° Энергетические спектры и угловые распределения	-	-
^{24}Mg	26	0-40° Энергетические спектры	-	-	-	-
^{27}Al	26	0-40° Из-за малых сечений дискретные спектры не наблюдались	-	-	-	-
^{40}Ca	26	0-40° Из-за малых сечений дискретные спектры не наблюдались	-	-	-	-

а сам максимум может быть приближенно описан простой формулой, аналогичной формуле Батлера. Угловые распределения

α -частиц в реакции (${}^6\text{Li}, \alpha$) и протонов в реакции (${}^3\text{He}, p$) подобны. Все это подтверждает прямой механизм и исключает значительный вклад компаунд-ядра в реакциях (${}^6\text{Li}, \alpha$) и (${}^3\text{He}, p$).

2. Возбуждение одних и тех же состояний остаточных ядер в реакциях (${}^6\text{Li}, \alpha$) и (${}^3\text{He}, p$) с примерно одинаковыми относительными сечениями указывает на то, что в обеих реакциях осуществляется близкий механизм прямой передачи пары нуклонов. Дальнейшим подтверждением этого является избирательное возбуждение двухчастичных состояний, прослеженное на многих ядрах.

3. Большие сечения для переходов в свободную (sd)-оболочку в реакциях (${}^6\text{Li}, \alpha$) и (${}^3\text{He}, p$), сравнимые по величине с сечениями реакций однонуклонной передачи, говорят о большой роли передачи коррелированной пары нуклонов и о существенном вкладе в реакции полюсного механизма.

4. Сравнение реакций (${}^6\text{Li}, \alpha$) и (α, d) на ${}^{12}\text{C}$, ${}^{14}\text{N}$, ${}^{16}\text{O}$, ${}^{24}\text{Mg}$ обнаруживает существенные различия в вероятностях переходов в одни и те же состояния конечных ядер, которые трудно объяснить особенностями кинематики этих реакций. По-видимому, в процессе (α, d) полюсной механизм передачи пары нуклонов дает существенно меньший вклад, чем в (${}^6\text{Li}, \alpha$)

(${}^3\text{He}, p$), и основным механизмом является механизм последовательного захвата. На это указывает и то обстоятельство, что сечения (α, d) остаются примерно одинаковыми для широкого диапазона ядер от ${}^{12}\text{C}$ до ${}^{40}\text{Ca}$, тогда как в (${}^6\text{Li}, \alpha$) и в (${}^3\text{He}, p$) они сильно возрастают для ядер, имеющих полностью свободные $P_{1/2}$ - и (sd)-оболочки.

5. Одинаковый характер спектров реакций (${}^6\text{Li}, \alpha$), (${}^3\text{He}, p$) и (α, d) на ${}^9\text{Be}$ указывает на то, что переходы в состояния с энергиями возбуждения до 11-12 Мэв во всех случаях осуществляются путем механизма последовательного захвата.

Основные экспериментальные данные о дейтронных состояниях ядер можно резюмировать следующим образом:

1. Формирование дейтронных кластерных состояний в свободных $1_{7/2}$ - и $2p_{3/2}$ -оболочках и в частично занятой (sd)-оболочке значительно менее вероятно, чем формирование их в свободной (sd)-оболочке.

2. Получены предварительные экспериментальные данные о возможном проявлении в реакции (${}^6\text{Li}, \alpha$) порогового эффекта, что выражается в усилении переходов в состояния, лежащие вблизи эффективных дейтронных порогов.

3. В реакции (${}^6\text{Li}, \alpha$) обнаружены интенсивные переходы в сильно возбужденные состояния ядер ${}^9\text{Be}$ и ${}^{14}\text{N}$, лежащие в области гигантского дипольного резонанса.

Диссертация состоит из пяти глав. В первой главе содержатся введение, постановка задачи и рассматриваются особенности реакций передачи двух нуклонов. Во второй главе описана методика эксперимента. В третьей главе содержатся результаты измерений: типичные энергетические спектры α -частиц, протонов, дейтронов, угловые распределения и таблицы дифференциальных и полных сечений. Обсуждению результатов посвящена четвертая глава. В пятой главе изложены результаты работы.

Основное содержание диссертации опубликовано в статьях /5,6,8/ и докладывалось на Международной конференции по физике тяжелых ионов в Дубне (1966 г), на Международном симпозиуме в Люсекиле (Швеция, 1966) и на XVII и XIX все-союзных совещаниях по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра в Харькове (1967) и Ереване (1969).

Л и т е р а т у р а

1. I. Rotter, Fort. Phys., **16**, 195 (1968).
2. И.С. Шапиро Теория прямых ядерных реакций, Атомиздат, 1963.
3. Дж. Моррисон, в сб. "Прямые процессы в ядерных реакциях". Атомиздат, 1965 стр. 249.

4. P.I.Vasiliev, N.I.Venikov, D.V.Zejjakin, A.A.Ogloblin, N.N.Khaldin, V.I.Khoroshavin, V.I.Chuev, N.I.Chumakov. Nucl.Instr. and Meth., 67, 2 (1969).
5. V.I.Chuev, V.V.Davidov, A.A.Ogloblin, S.B.Sakuta. Proc. of Int. Symp. on "Why and How should we investigate Nuclides far of the stability line", Lysekil, Sweden, 1966. Arkiv för Fysik, bd 36, 263 (1967).
6. В.В.Давыдов, А.А.Оглоблин, С.Б.Сакута, В.И.Чуев. Ядерная физика, 7, 708, 1968; Программа и тезисы докладов XVII ежегодного совещания по ядерной спектроскопии и структуре ядра. Харьков. Издательство "Наука" 1967, стр. 139-140.
7. А.А.Курашов, А.А.Оглоблин, В.В.Парамонов. ПТЭ, №1, 91, 1967.
8. В.В.Давыдов, А.А.Оглоблин, С.Б.Сакута, В.И.Чуев, изв. АН СССР, серия физ. 33, 597, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел

13 ноября 1969 года.