

*Н. БУРТЕБАЕВ¹, А. ДУЙСЕБАЕВ¹, Н. В. ГЛУЩЕНКО¹, Ж. К. КЕРИМКУЛОВ¹,
М. НАСУРЛЛА¹, А. АМАР², С. Б. САКУТА³, С. В. АРТЕМОВ⁴*

¹Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан,

²Университет Танта, Танта, Египет,

³Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан,

⁴Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт» Москва, Россия)

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ ПРИ ЭНЕРГИИ 25 МэВ

Аннотация. Были измерены угловые распределения дифференциальных сечений для реакции ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ при энергии дейтронов 25 МэВ. Новые и полученные ранее данные были проанализированы методом связанных каналов реакций (CRC) с учетом механизма альфа-трансфера без возбуждения ядра и кластера, а также был получен спектроскопический фактор для $\alpha+t$ конфигурации ${}^7\text{Li}$. Также были рассчитаны параметры реальной части потенциала с использованием модели двойной свертки. Дифференциальные сечения реакции ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ были проанализированы методами DWBA и CRC при энергии 25 МэВ. Спектроскопический фактор для $n+{}^6\text{Li}$ конфигурации ${}^7\text{Li}$ были получены из экспериментальных данных.

Введение. Ядерный потенциал до сих пор не определен, особенно при малых расстояниях между взаимодействующими ядрами. Из феноменологических исследований стало ясно, что большая часть ядерного потенциала взаимодействия может быть аппроксимированы в форме Вудса-Саксона, что дает простое аналитическое выражение, явно параметризованное по глубине, радиусу и диффузности потенциальной ямы.

Параметры оптической модели (ПОМ) широко используются для создания искаженных волн для анализа сечений многих реакций, и эти анализы оказались мощным инструментом для получения информации о ядерной структуре. Но применимость оптической модели и метода искаженных волн (DWBA) для легких ядер в простой форме несколько неоднозначна, так как количество нуклонов мишени мала. Кроме того, кластерный эффект может стать важным в упругих рассеяниях и реакциях. Несмотря на то, оптическая модель и теория DWBA не должны хорошо работать для ядер с $A = 6$ и 7 , изучение реакций передачи с этими легкими мишенями привлекательно, так как другие свойства этих легких систем были детально рассчитаны. Результаты анализа DWBA сечений передачи, как правило, очень чувствительны к изменению параметров оптического потенциала. Рассчитанное угловое распределение реакции передачи нуклонов может существенно различаться, даже если используемые параметры ОМ хорошо соответствуют упругому рассеянию во входных и выходных каналах реакции. Кроме того, различные параметризации оптических потенциалов могут обеспечить различие спектроскопических факторов (СФ) до 3 порядков [1].

Следовательно, очень важно зафиксировать эти значения на столько, насколько это возможно. При движении на большие углы от DWBA больше не ожидается правдоподобных результатов, даже при хорошем описании экспериментальных угловых распределений. Следует отметить, что СФ, полученные из анализа, сильно зависят от формы потенциала связанного состояния, широко используемого в форме Вудса-Саксона. Известно, что в результате взаимодействия сложных частиц с легкими ядрами часто наблюдается специфический эффект, называемый рассеянием на аномально большие углы (ALAS), что невозможно объяснить в рамках стандартной оптической модели. Природа этого явления может быть различной, но в случаях для мишеней ${}^6\text{Li}$ и ${}^7\text{Li}$, имеющих выраженную $(\alpha+d)$ и $(\alpha+t)$ кластерную структуру, при больших углах дифференциальное сечение увеличивается. Оно почти полностью связано с механизмом обменной передачи [2]. И ядро-мишень ${}^7\text{Li}$ и остаточное ядро ${}^6\text{Li}$, как известно, хорошо описываются кластерной моделью, и, следовательно, обменные эффекты должны быть усилены для реакции ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$. Реакция ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ была изучена в значительной степени, но исследования были выполнены только для передних углов без включения обменного эффекта А.Р. Зандером и соавт. [3], которые измерили и проанализировали реакцию ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ при энергии налетающих дейтронов $E_d = 12$ МэВ. Их анализ был неполным, потому что они не включили обменные эффекты в свои расчеты. Кроме того, не было ничего о реакции альфа-передачи в обратных углах. Некоторые измерения были только на передних углах. Несколько попыток описать обменные эффекты в реакции ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ были сделаны Ф. Майклом и соавт. [4].

В настоящей работе метод CRC применяется к реакции ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ для получения наилучшего анализа экспериментальных данных с помощью кода Fresco [5]. Мы пренебрегаем спин-орбитальными эффектами в нашем анализе в зависимости от предположения, представленного Ф. Майклом [4]. Исследованы неоднозначности оптической модели и их влияние на расчеты. СФ обоих ${}^7\text{Li} = {}^6\text{Li} + p$ и ${}^6\text{Li} = \alpha + D$ извлекаются из экспериментальных данных.

Экспериментальная процедура

Эксперимент по реакции ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ при энергии дейтрона $E_d=25$ MeV был выполнен на изохронном циклотроне У-150М в Институте ядерной физики НЯЦ, Алматы, Казахстан [5]. Камера рассеяния, использованная в наших измерениях, показана на рисунке 1.

Энергетические спектры вылетающих частиц измеряли с помощью двух ΔE - E телескопов, содержащих полупроводниковые детекторы. Толщина детектора ΔE имеет различные значения от 25 микрон до 100 микрон в зависимости от угла измерения, при толщине E детектора от 2 до 5 мм. Разделение тритонов из других заряженных продуктов реакции было достигнуто с электронной системой двумерного анализа. Телесный угол системы регистрации был 4.22×10^{-5} sr. Основное (1 +)

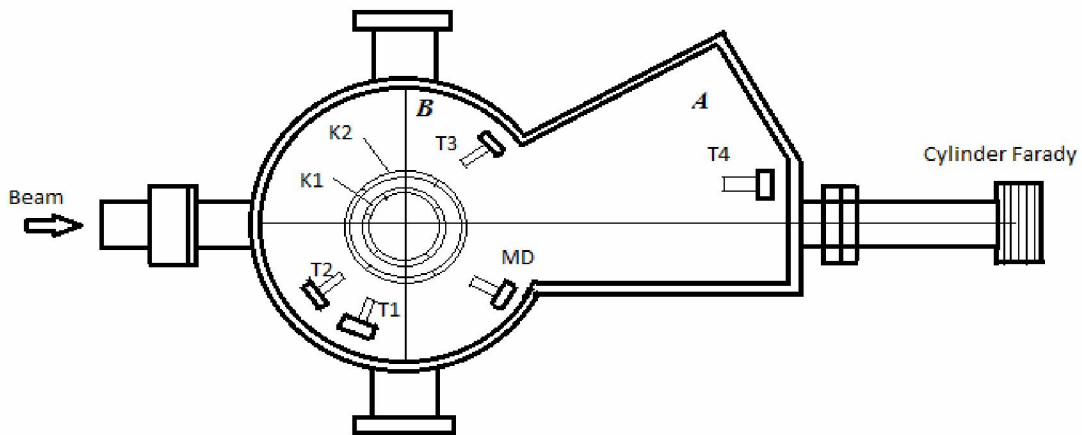
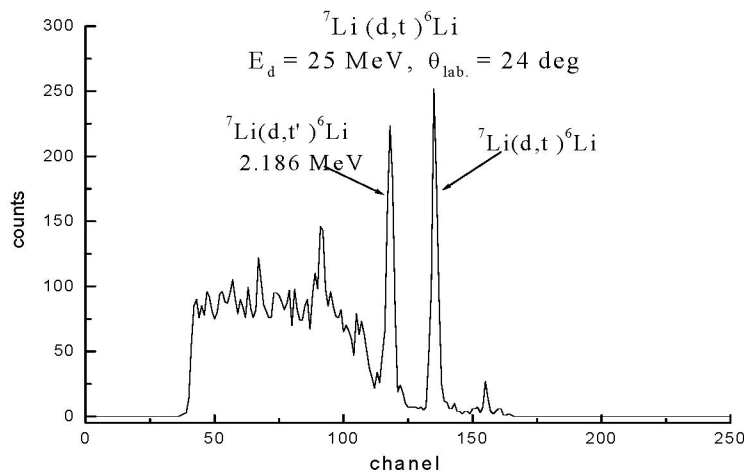


Рисунок 1 – Схема камеры рассеяния.

K_1, K_2 – независимо вращающиеся кольца с приводом от шаговых двигателей;
 $T_1 \div T_4$ – телескопы ΔE - E детекторов, крепящиеся попарно к кольцам K_1 и K_2 ;
 MD – детектор, служащий для мониторинга рассеянного пучка

Рисунок 2 – Энергетический спектр тритонов из реакции ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ при угле $\theta=24^\circ$ для пучка с энергией 25 МэВ

и первое возбужденное состояние ${}^6\text{Li}$ ($E_x = 2.186 \text{ MeV}$, 3^+) были получены при разложении общей структуры на два пика Гаусса. Статистические ошибки измеренных дифференциальных сечений не превышают 10%. Типичный спектр тритонов из реакции ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ показан на рисунке 2.

Результаты и обсуждения

Как видно из рисунков 3, 4 рассчитаны сечения в целом воспроизводят экспериментальные данные достаточно хорошо. Наилучшее совпадение при энергиях 12 и 25 МэВ были получены с использованием ОМП А1 + В1 на 25 МэВ (см. таблицу 1). Сечения CRC отличаются от сечений МИВ (штриховые кривые) только при углах более 70° , тогда как при меньших углах есть эквивалентное описание экспериментальных данных.

Вывод. Были измерены угловые распределения дифференциальных сечений реакции ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ при энергии дейтронов 25 МэВ. Наши новые данные были проанализированы с использованием оптической модели, метода связанных каналов реакций и методом искаженных волн.

Микроскопический потенциал был посчитан в рамках модели двойной свертки с коэффициентом нормализации $N = 1.0$.

Таблица 1 – Потенциалы оптической модели для расчетов МИВ реакции ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$

OMP name	$E_{\text{lab.}}$ MeV	V MeV	r_V fm	a_V fm	W_S MeV	r_s fm	a_s fm	Ref.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
${}^7\text{Li}+d$								
<i>A1</i>	25	81.4	1.17	0.85	14.37	1.325	0.75	[2]
${}^6\text{Li}+t$								
<i>B1</i>	25	113.0	1.15	0.740	60.80	1.22	0.80	[13]
<i>B4</i>	25	150	1.22	0.49	60.80	1.22	0.80	DF, P.W.

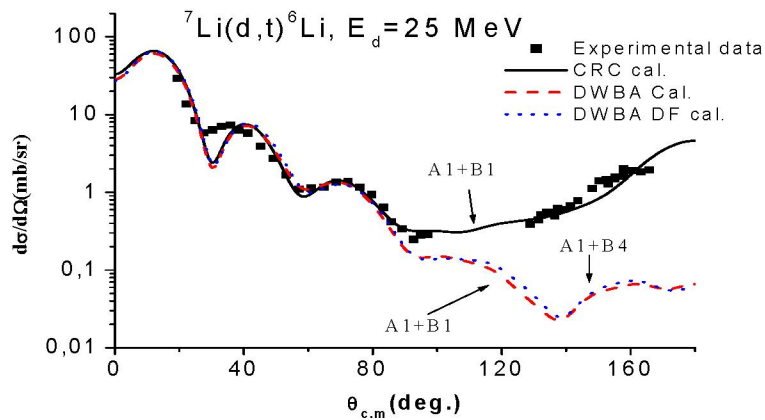


Рисунок 3 – Угловое распределение дейтронов из реакции ${}^7\text{Li}(d,t){}^6\text{Li}$ при энергии дейтронов 25 МэВ

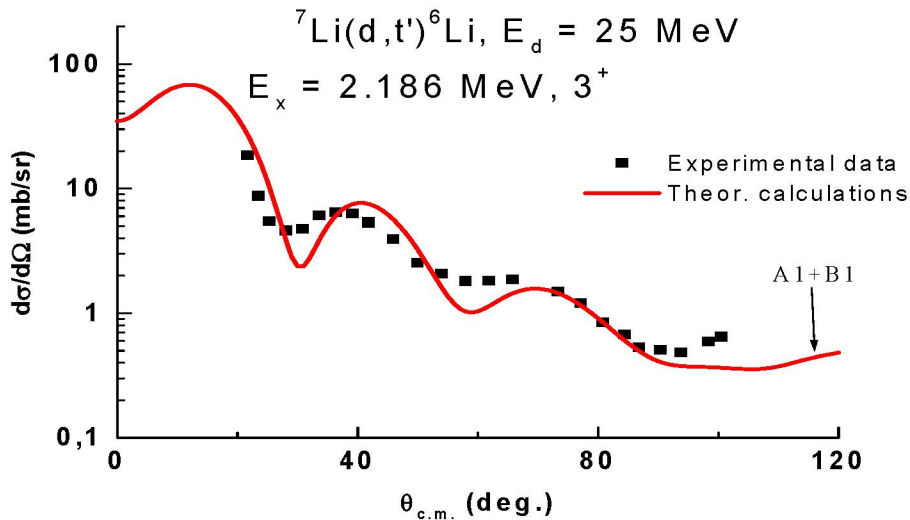


Рисунок 4 – Угловое распределение дейтронов из реакции ${}^7\text{Li}(d,t'){}^6\text{Li}^*$ при энергии дейтронов 25 МэВ

В анализе (d,t) реакции мы оценили роль n - и α -кластерных одношаговых механизмов передачи. Было показано, что эффект CRC представляется очевидным во всех случаях. Но сечения CRC отличаются от обычного DWBA только при углах более чем 80° и при меньших углах существует эквивалентное описание экспериментальных данных.

Полученные спектроскопические амплитуды очень велики, особенно для конфигурации ${}^7\text{Li} \equiv {}^6\text{Li} + n$ в сравнении с теоретическими значениями, полученными в [6]. Эти значения будут оцениваться в следующем анализе.

REFERENCES

- 1 I.J. Thompson and F.M. Nunes, Nuclear Reactions for Astrophysics: Principles, calculation and Applications of Low-Energy Reactions, Cambridge University Press, Cambridge, 2009.
- 2 N. Burtebayev, Marzhan Nassurlla, Maulen Nassurlla, Zh. K. Kerimkulov, S.B. Sakuta, Copyright of AIP Conference proceeding, American Institute of Physics , 2008, P. 203-208.
- 3 A.R. Zander, K. W. Kemper, N. R. Flecher, Nucl. Phys. A, Vol.173, 1971, P. 273-285.
- 4 F.W. Michael and Steve Edwards, Ph. Rev. C Vol. 8, 1973, P.978-987.
- 5 A.A. Arzumanov, L.M. Nemenov, O.K. Anisimov, S.S. Batalin, B.A. Volkov, D.D. Gromov, E.T. Kravchenko, V.G. Kruglov, M.Kh. Nigmatov, Yu.S. Popov, S.I. Prokof'yev, S.N. Rybin. Isochronic cyclotron with controlled ions energy, Izvestiya AN KazSSR. Seriya Phys.-Math. , 1973, №4, P. 6-15.
- 6 O. F. Nemets, Yu. V. Gofman, Handbook in Nuclear Physics (Nauk. Dumka, Kiev, 1975) [in Russian].