

Квазиупругое выбивание тритонов из ядер ${}^6\text{Li}$ и ${}^7\text{Li}$ пионами промежуточных энергий

Б. М. Абрамов, Ю. А. Бородин, С. А. Булычев, И. А. Духовской, А. П. Крутенкова¹⁾, В. В. Куликов, М. А. Мартемьянов, М. А. Мацюк, В. Е. Тарасов, Е. Н. Турдакина, А. И. Ханов

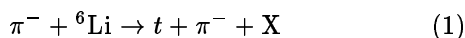
Институт теоретической и экспериментальной физики, 117218 Москва, Россия

Поступила в редакцию 8 июля 2004 г.

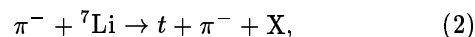
Изучалось квазиупругое выбивание тритонов из ядер ${}^6\text{Li}$ и ${}^7\text{Li}$ отрицательными пионами с импульсами $p_0 = 0.72$ и 0.88 ГэВ/с в области пион-тритонного рассеяния назад. Эксперимент был выполнен в ИТЭФ на 3-метровом магнитном спектрометре с искровыми камерами. Получены распределения по импульсам внутриядерного движения квазитритонов и спектры по энергии возбуждения ядра-остатка.

PACS: 25.80.Nr

Кластеры играют важную роль в понимании структуры ядра (см., например, обзоры [1, 2]). В рамках кластерных подходов свойства ядер определяются как свойствами, присущими самим кластерам, так и их относительным движением. В последние годы интерес к кластерному подходу заметно вырос. Это связано как с успехами α -частичных моделей ядер [1, 3], так и с развитием методов проектирования [4] оболочечных волновых функций на кластерные конфигурации, позволяющих преодолевать трудности проблем многих тел при расчете ядерных реакций. Эффективным методом изучения кластерной структуры легких ядер, использованным в настоящей работе, является квазиупругое выбивание фрагментов (кластеров) из ядер. При измерении кинематических параметров как выбиваемого фрагмента, так и рассеянной частицы пучка (то есть при использовании полной кинематики эксперимента) этот метод в рамках импульсного приближения дает возможность по недостающим энергии и импульсу определить не только энергию ядра-остатка, но и импульс внутриядерного движения фрагмента, и вычислить эффективное число таких кластеров в ядре. Этот метод был использован нами ранее в работе [5] при изучении квазиупругого пион-дейтронного рассеяния назад. В том же эксперименте была набрана статистика, на основе которой получены приводимые в настоящей работе результаты по квазиупругому выбиванию тритонов вперед из ядер ${}^6\text{Li}$ и ${}^7\text{Li}$ пионами в реакциях



и



и построены спектры по энергии возбуждения ядра-остатков X и распределения по импульсу внутриядерного движения квазитритона. Оба ядра-мишени могут рассматриваться [6, 7] как двухкластерные системы ${}^6\text{Li} \rightarrow t + {}^3\text{He}$ и ${}^7\text{Li} \rightarrow t + {}^4\text{He}$, на квазитритонном кластере которых и происходят указанные реакции.

Эксперимент был выполнен на пучке отрицательных пионов 10-ГэВ протонного синхротрона ИТЭФ при импульсах $p_0 = 0.72$ и 0.88 ГэВ/с. Использовался 3-метровый магнитный спектрометр с искровыми камерами, расположенными в магнитном поле (см. [8]). Большой объем магнитного поля ($3 \times 0.5 \times 1 \text{ м}^3$) позволил при расположении мишени вблизи центра магнита провести полный кинематический анализ реакции: измерить импульсы как выбиваемого вперед ($\theta_{\text{lab}} \lesssim 10^\circ$) тритона, так и импульсы налетающего пучкового и рассеянного назад пиона. Мишени из ${}^6\text{Li}$ (с изотопным составом 90.4% ${}^6\text{Li}$ и 9.6% ${}^7\text{Li}$) и ${}^7\text{Li}$ (естественная смесь изотопов: 7.52% ${}^6\text{Li}$ и 92.48% ${}^7\text{Li}$) представляли собой сплошные цилиндры длиной 9.5 см и диаметром 8 см со стенками толщиной 0.1 мм из нержавеющей стали. Все мишени были укреплены на диске, при повороте которого нужная мишень подводилась под пучок. Существенно, что в эксперименте одновременно измерялось квазиупругое выбивание протонов [9] и дейтронов [5], реакций, идущих с существенно большим сечением. Это позволило иметь надежную калибровку при выделении событий реакций (1) и (2). Время пролета положительной частицы, вылетающей из мишени вперед, определялось на базе ~ 6 м с помощью системы

¹⁾e-mail: anna.krutenkova@itep.ru

гodosкопических сцинтилляционных счетчиков площадью $0.7 \times 2.1 \text{ м}^2$. Распределение по квадрату массы вылетающей вперед частицы M_τ^2 , вычисленное на основе измеренного импульса и времени пролета, представлено на рис.1. Выделение реакций с выбиванием

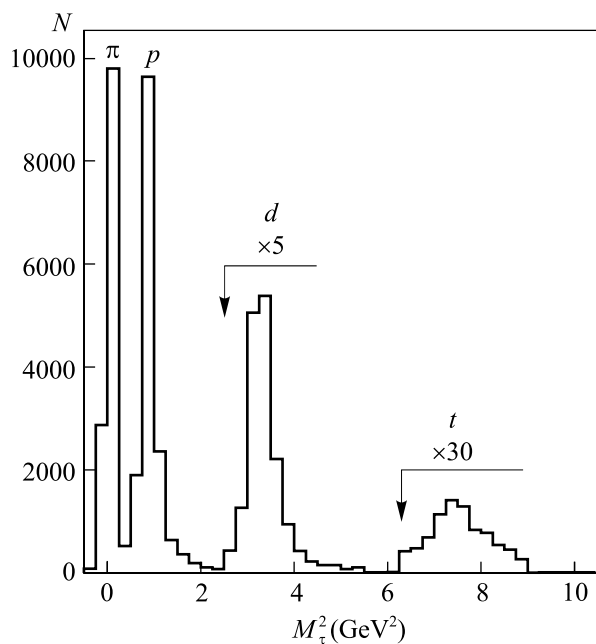


Рис.1. Распределение по квадрату массы M_τ^2 вылетающей вперед частицы в реакции $\pi^- + A \rightarrow (\pi^+, p, d, t) + X$

тритонов осуществлялось с использованием критерия $6.3 \leq M_\tau^2 \leq 8.9 \text{ ГэВ}^2$. Для этих событий вычислялись потерянный импульс

$$\mathbf{p}_F = \mathbf{p}_0 - \mathbf{p}_t - \mathbf{p}_{\pi^-} \quad (3)$$

и потерянная энергия

$$E_{\text{miss}} = T_0 - T_t - T_{\pi^-} - T_X, \quad (4)$$

где T – кинетическая энергия, а индексы 0, π^- , t и X означают начальный и конечный пионы, тритон и ядро-остаток X , соответственно, $T_X = (\mathbf{p}_F)^2/2M$, M – масса ядра-остатка. Дальнейший анализ проводился в плосковолновом импульсном приближении PWIA, которому соответствует полюсная диаграмма, приведенная на рис.2, для реакции (1). В PWIA потерянный импульс \mathbf{p}_F отождествляется с внутриядерным движением квазитритонного кластера, а E_{miss} – с энергией возбуждения ядра-остатка. Распределения по E_{miss} приведены на рис.3 для суммарной статистики, набранной при $p_0 = 0.72$ и 0.88 ГэВ/с для ${}^6\text{Li}$ и ${}^7\text{Li}$. На обоих распределениях при малых E_{miss} отчетливо наблюдается пик квазиупругого пион-тритонного рассеяния назад. Положение этого

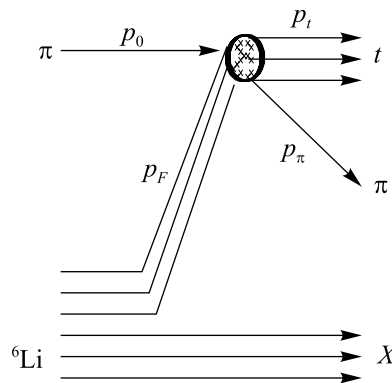


Рис.2. Диаграмма плосковолнового импульсного приближения PWIA

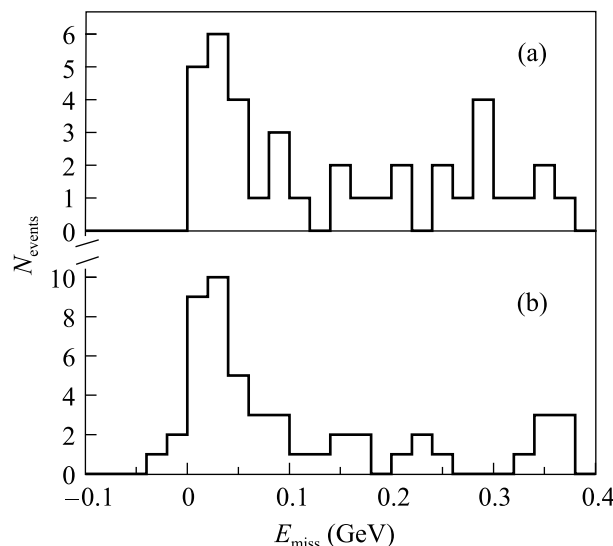


Рис.3. Распределения по E_{miss} в реакциях $\pi^- + {}^{6,7}\text{Li} \rightarrow t + \pi^- + X$ для суммарной статистики, набранной при $p_0 = 0.72$ и 0.88 ГэВ/с : (a) на ${}^6\text{Li}$ и (b) на ${}^7\text{Li}$

пика для ${}^6\text{Li}$ при $X = {}^3\text{He}$ определяется энергией связи ($E_b = 15.8 \text{ МэВ}$ [6]) квазитритона в ядре ${}^6\text{Li}$, то есть $E_{\text{miss}} = 15.8 \text{ МэВ}$. Пороги реакций при $X = p + d$ и $X = p + p + n$ лежат выше на 6 и 8 МэВ, соответственно. Экспериментальное разрешение нашей установки по E_{miss} , $\sigma = 15\text{--}18 \text{ МэВ}$, не позволяет разделить указанные реакции. Положение пика квазиупругого пион-тритонного рассеяния на ${}^7\text{Li}$ при $X = {}^4\text{He}$ определяется энергией связи ($E_b = 2.5 \text{ МэВ}$ [6]) квазитритона в ядре ${}^7\text{Li}$, то есть $E_{\text{miss}} = 2.5 \text{ МэВ}$. Пороги реакций при $X = d + d$, $X = p + n + d$ и $X = p + n + p + n$ лежат выше на 25, 27 и 29 МэВ, соответственно. Для ${}^7\text{Li}$ квазиупругий пик, соответствующий выбиванию квазитритона, выражен более отчетливо, что особенно заметно на двумерном распределении p_F от E_{miss} (см. рис.4). Здесь для ${}^7\text{Li}$ наблюдается ярко выраженная концентрация событий при малых p_F и малых E_{miss} , отсутствующая для ${}^6\text{Li}$. Это говорит о большем весе

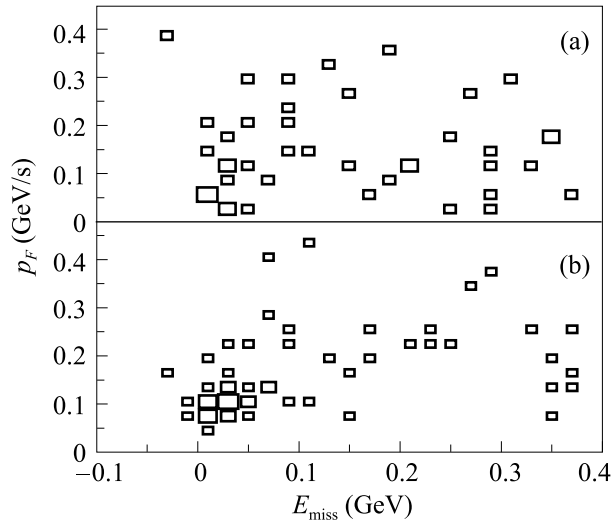


Рис.4. Импульс внутриядерного движения квазитритонов в реакциях $\pi^- + {}^6,7\text{Li} \rightarrow t + \pi^- + X$ для интервала $-0.010 \leq E_{\text{miss}} \leq 0.050$ ГэВ в зависимости от E_{miss} : (а) на ${}^6\text{Li}$ и (б) на ${}^7\text{Li}$

квазитритонной компоненты в ядре ${}^7\text{Li}$, чем в ядре ${}^6\text{Li}$.

Распределения по импульсу внутриядерного движения квазитритона показаны на рис.5. Они описывались гауссовскими функциями $\exp(-p_F^2/\kappa^2)$. Зна-

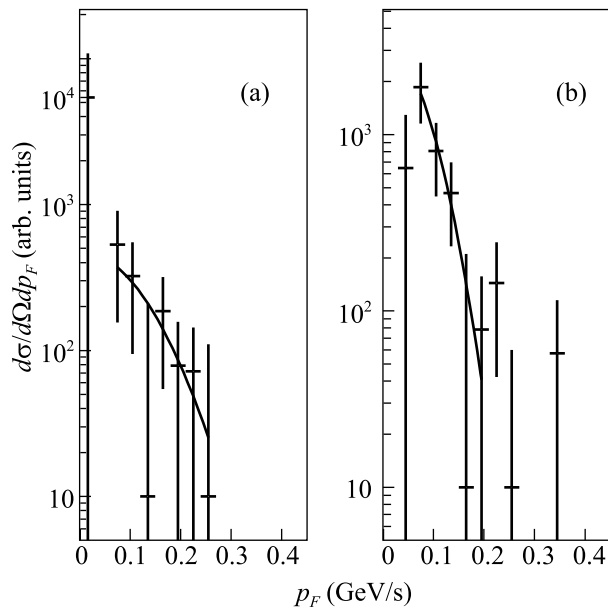


Рис.5. Распределения событий по импульсу внутриядерного движения квазитритонов в реакциях $\pi^- + {}^6,7\text{Li} \rightarrow t + \pi^- + X$ для интервала $-0.010 \leq E_{\text{miss}} \leq 0.050$ ГэВ: (а) на ${}^6\text{Li}$ и (б) на ${}^7\text{Li}$. Кривые соответствуют гауссовскому распределению $\exp(-p_F^2/\kappa^2)$, где $\kappa = 149 \pm 56$ МэВ/с и 93 ± 18 МэВ/с для ${}^6\text{Li}$ и ${}^7\text{Li}$, соответственно

чения параметра κ для интервала $-0.010 \leq E_{\text{miss}} \leq 0.050$ ГэВ оказались равными: $\kappa = 149 \pm 56$ МэВ/с для ${}^6\text{Li}$ и $\kappa = 93 \pm 18$ МэВ/с для ${}^7\text{Li}$. Эти величины больше значений $\kappa = 56 \pm 8$ МэВ/с для ${}^6\text{Li}$ и $\kappa = 82 \pm 11$ МэВ/с для ${}^7\text{Li}$, полученных нами для импульсов внутриядерного движения квазидейтронов из квазиупругого пион-дейтронного рассеяния в этих ядрах при $p_0 = 0.72$ ГэВ/с [5, 10]. Значение параметра $\kappa = 100 \pm 20$ МэВ/с для импульса внутриядерного движения квазитритонов, измеренное по квазиупругому выбиванию тритонов протонами с энергией 590 МэВ в полной кинематике на ${}^6\text{Li}$ [11], согласуется с нашими измерениями, которые, в свою очередь, согласуются с расчетами [12, 13]. К сожалению, нам не известны аналогичные расчеты для ядра ${}^7\text{Li}$. Отсутствие данных по упругому пион-тритонному рассеянию (или изотопически сопряженному рассеянию пионов на ${}^3\text{He}$) при энергиях нашего эксперимента и при больших переданных импульсах не позволяет нам оценить эффективное число квазитритонов в ядрах лития.

Мы признательны за помощь в проведении эксперимента коллективам 3-метрового спектрометра и ускорителя ИТЭФ. Мы благодарны Л. А. Кондратюку и А. Е. Кудрявцеву за стимулирующие дискуссии. Работа была частично поддержана грантами: Российского фонда фундаментальных исследований # 03-02-17470, НШ-1867.2003.02 и ФЦНТП-40.052.1.1.112.

1. Н. Horiuchi, Nucl. Phys. **A522**, 257 (1991).
2. Е. Т. Ибраева, ЭЧАЯ **34**, 269 (2003).
3. А. Arima, nucl-th/0405078.
4. В. Т. Ворончев, В. И. Кукулин, В. Н. Померанцев и др., ЯФ **57**, 1964 (1994); Few-Body Sys. **18**, 191 (1995).
5. Б. М. Абрамов, Ю. А. Бородин, С. А. Булычев и др., Письма в ЖЭТФ **74**, 504 (2001).
6. F. Ajzenberg-Selove, Nucl. Phys. **A490**, 1 (1988).
7. М. И. Адамович, В. Браднова, С. Вокал и др. ЯФ **67**, 533 (2004).
8. В. М. Абрамов, Ю. А. Бородин, S. A. Bulychjov et al., Nucl. Phys. **A723**, 389 (2003).
9. Б. М. Абрамов, Ю. А. Бородин, С. А. Булычев и др., Письма в ЖЭТФ **71**, 524 (2000).
10. Б. М. Абрамов, Ю. А. Бородин, С. А. Булычев и др., ЯФ (принято к печати).
11. W. Dollhopf, C. Lunke, C. F. Perdrisat et al., Phys. Rev. **C8**, 877 (1973).
12. Yu. A. Kudryarov, I. V. Kurdyumov, V. G. Neudachin, and Yu. F. Smirnov, Nucl. Phys. **A163**, 316 (1971).
13. I. V. Kurdyumov, V. G. Neudachin, Yu. F. Smirnov, and V. P. Korennoy, Phys. Lett. **B40**, 607 (1972).