

ОБРАЗОВАНИЕ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ π^- -МЕЗОНОВ ЯДРАМИ ${}^{6,7}\text{Li}$

*А.И.Амелин, М.Г.Горнов, Ю.Б.Гуров, А.И.Ильин, В.П.Коптев,
П.В.Морохов, К.О.Оганесян, В.А.Печкуров, В.И.Савельев,
Ф.М.Сергеев, Б.А.Чернышев, Р.Р.Шафигуллин, А.В.Шишков*

С целью поиска сверхтяжелых изотопов водорода ${}^{4\pm 6}\text{H}$ в двухчастичных каналах реакции, проведен анализ спектров p, d, t , образующихся при поглощении остановившихся π^- -мезонов изотопами ${}^{6,7}\text{Li}$. Полученные результаты указывают на возможность существования резонансных уровней как в системе ${}^4\text{H}$ так и ${}^5\text{H}$.

Вопрос о существовании и параметрах сверхтяжелых изотопов водорода до настоящего времени не решен. Надежно установлен лишь факт существования квазистационарного состояния ${}^4\text{H}$. При этом структура и характеристики спектра возбуждения этого изотопа практически не изучены. Что касается ${}^{5,6}\text{H}$, то здесь экспериментальной информации явно недостаточно для надежных заключений о наличии и, тем более, характеристиках таких состояний ^{1, 2}.

В то же время, можно отметить заметный прогресс в теории, связанный с развитием метода гиперсферических функций для описания малонуклонных систем ³. В частности, в рамках этого метода были описаны свойства широкого набора ядер вблизи границы стабильности, в том числе, так называемая "гелиевая аномалия" — возрастание энергии связи при переходе от ${}^5\text{He}$ к ${}^7\text{He}$ и от ${}^6\text{He}$ к ${}^8\text{He}$ ³. В аналогичных расчетах для изотопов водорода предсказывается монотонное уменьшение энергии связи при переходе от ${}^4\text{H}$ к ${}^6\text{H}$, а также наличие возбужденных уровней ${}^4\text{H}$ в интервале $3 \div 7$ МэВ ⁴.

В этой ситуации экспериментальный поиск и изучение сверхтяжелых изотопов водорода представляет интерес как с точки зрения уточнения экспериментальных данных, так и проверки теоретических предсказаний.

В рамках исследований, начатых нами на ядре ${}^9\text{Be}$ ¹ мы провели измерения, направленные на поиск сверхтяжелых изотопов водорода в двухчастичных каналах реакции поглощения остановившихся π^- -мезонов изотопами ${}^{6,7}\text{Li}$. Эксперимент, выполненный на П2-канале синхротронного ускорителя ЛИЯФ АН СССР с помощью многослойного ППД-спектрометра ⁵, включал в себя как инклюзивные измерения высокоимпульсной компоненты спектров p, d, t , так и корреляционные — с регистрацией заряженных частиц на совпадение. В отличие от аналогичных исследований ⁶ спектрометр обеспечивал регистрацию всех продуктов реакции (p, d, t) вплоть до кинематических границ в режиме на полное поглощение. При этом энергетическое разрешение во всем измеряемом диапазоне не превышало 1 МэВ, а погрешность энергетической привязки составляла величину ~ 200 КэВ (t) и ~ 500 КэВ (p, d) соответственно.

Результаты инклюзивных измерений высокоимпульсной компоненты спектров p, d, t представлены на рис. 1 ÷ 3. Процедура поиска эффектов, связанных с проявлением двухчастичных каналов, выполнялась следующим образом. Области спектров, соответствующие высоким ($E_x \gtrsim 15$ МэВ) возбуждениям остаточной системы, описывались суммой фазовых объемов всех возможных каналов реакций, за исключением двухчастичных. При этом принимались во внимание возможность парного взаимодействия нейтронов в конечном состоянии (учет канала 2n , $E_r = 0$, $\Gamma = 0$ ⁷), а для спектров на рис. 2 ÷ 3 и вклад каналов с участием ${}^4\text{H}$ ($E_r = 3.2$ МэВ, $\Gamma = 1.0$ МэВ). При подгонке учитывалось разрешение установки, а также вклад фоновых распределений, определяемый по выходу за пределы кинематических границ. Далее анализировались превышения экспериментальных распределений над расчетными в области малых возбуждений остаточной системы. Такие превышения показанные на вставках (рис. 1–3) обнаруживаются во всех спектрах, за исключением спектра протонов на ${}^7\text{Li}$. Их

описание выполнялось с помощью распределения Брейта–Вигнера с энергетической зависимостью ширины ⁶. Следует отметить, что результаты анализа как по выходам, так и параметрам резонансных состояний практически не зависели от выбора граничной величины E_x и совпадали с результатами совместных подгонок суммой фазовых объемов и резонансной кривой.

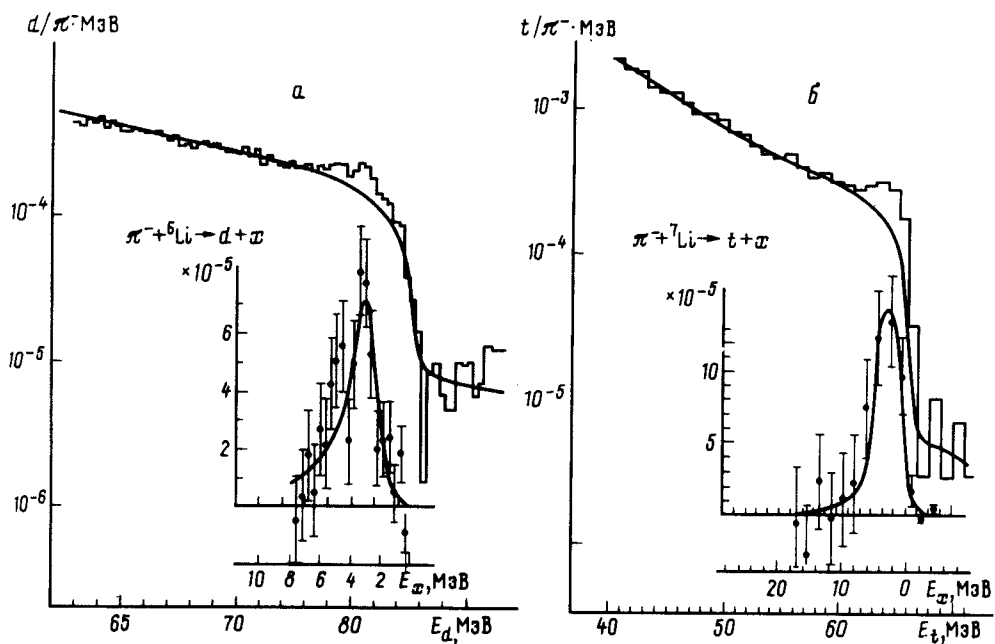


Рис. 1. Спектры дейтронов ($\pi^- + {}^6\text{Li} \rightarrow d + X$) (а) и тритонов ($\pi^- + {}^7\text{Li} \rightarrow t + X$) (б). Кривая – сумма фазовых объемов (см. текст)

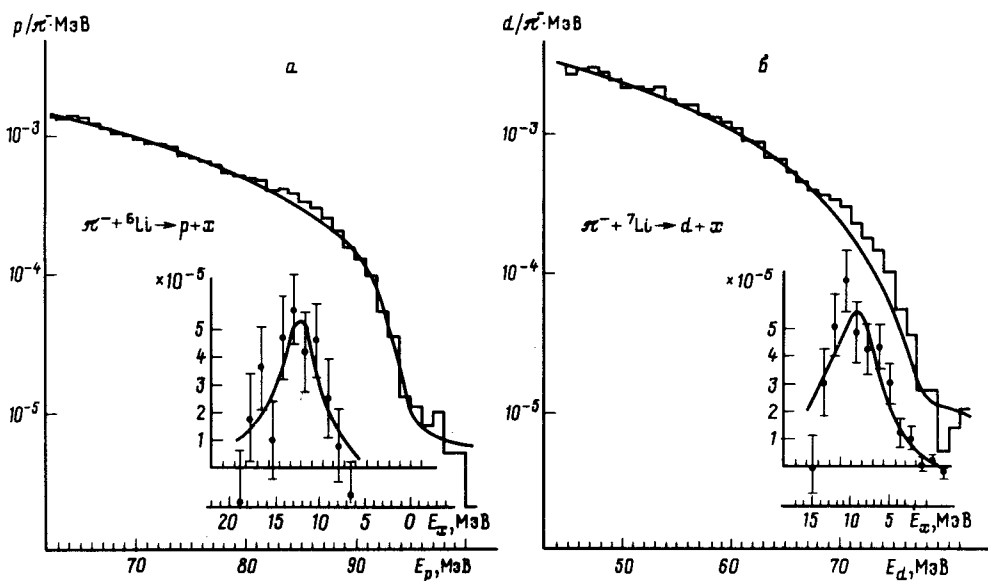


Рис. 2. Спектры протонов ($\pi^- + {}^6\text{Li} \rightarrow p + X$) (а) и дейтронов ($\pi^- + {}^7\text{Li} \rightarrow d + X$) (б). Кривая – сумма фазовых объемов (см. текст)

В результате анализа спектров дейтронов на ${}^6\text{Li}$ и тритонов на ${}^7\text{Li}$ (рис. 1) получены следующие значения выходов и параметров ${}^4\text{H}$: $Y[{}^6\text{Li}(\pi^-, d){}^4\text{H}] = (1.5 \pm 0.3) \cdot 10^{-4} \text{ 1/ост.}\pi^-$, $E_r = 3.6 \pm 0.6 \text{ МэВ}$, $\Gamma = 3.1 \pm 0.7 \text{ МэВ}$; $Y[{}^7\text{Li}(\pi^-, t){}^4\text{H}] = (5.1 \pm 1.4) \cdot 10^{-4} \text{ 1/ост.}\pi^-$, $E_r = 3.8 \pm 0.3 \text{ МэВ}$, $\Gamma = 3.4 \pm 0.8 \text{ МэВ}$. Отметим, что в обоих случаях получены результаты близкие к ранее измеренным в реакции ${}^9\text{Be}(\pi^-, dt){}^4\text{H}$ 1 ($E_r = 3.0 \pm 0.2 \text{ МэВ}$, $\Gamma = 4.7 \pm 1.0 \text{ МэВ}$), а также хорошее согласие по выходам реакций с результатами 6 . В тоже время определенные нами положение и ширина состояния ${}^4\text{H}$ несколько отличаются от данных, полученных в корреляционных измерениях на ядре ${}^7\text{Li}$ 6 ($E_r = 2.7 \pm 0.6 \text{ МэВ}$, $\Gamma = 2.3 \pm 0.6 \text{ МэВ}$). Можно также отметить удовлетворительное описание экспериментальных распределений суперпозицией основного и возбужденных состояний ${}^4\text{H}$ с теоретическими значениями резонансных параметров 8 . Таким образом, полученные данные не исключают возможности объяснения наблюдаемых усилений вкладом неразделенных уровней ${}^4\text{H}$.

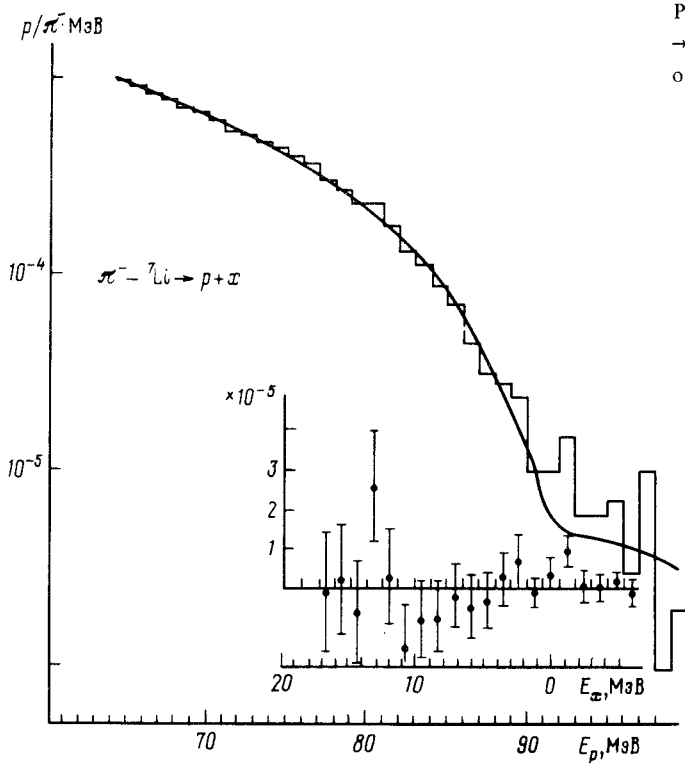


Рис. 3. Спектр протонов ($\pi^- + {}^7\text{Li} \rightarrow p + X$). Кривая – сумма фазовых объемов (см. текст)

Эффекты, связанные с возможным образованием системы ${}^5\text{H}$ менее выражены из-за больших ширин наблюдаемых особенностей (рис. 2). Анализ спектров протонов на ${}^6\text{Li}$ и дейтронов на ${}^7\text{Li}$ в предположении двухчастичной кинематики реакции дает следующие значения выходов и параметров ${}^5\text{H}$: $Y[{}^6\text{Li}(\pi^-, p){}^5\text{H}] = (2.8 \pm 0.7) \cdot 10^{-4} \text{ 1/ост.}\pi^-$, $E_r = 11.8 \pm 0.7 \text{ МэВ}$, $\Gamma = 5.6 \pm 0.9 \text{ МэВ}$; $Y[{}^7\text{Li}(\pi^-, d){}^5\text{H}] = (3.4 \pm 0.7) \cdot 10^{-4} \text{ 1/ост.}\pi^-$, $E_r = 9.1 \pm 0.7 \text{ МэВ}$, $\Gamma = 7.4 \pm 0.6 \text{ МэВ}$. Следует отметить, что аналогичное широкое состояние наблюдалось ранее в реакции ${}^6\text{Li}(\pi^-, p)X$ при $E_p = 125 \text{ МэВ}$, $\theta = 20^\circ$ 9 . Однако, в отличие от этих данных, а также результатов более позднего анализа 7 , наблюдаемые нами усиления не удается объяснить вкладом каналов с образованием ${}^4\text{H}$ или взаимодействием нейтронов в конечном состоянии. С учетом результатов по ${}^5\text{H}$ на ядре ${}^9\text{Be}$ ($E_r = 7.4 \pm 0.7 \text{ МэВ}$, $\Gamma = 8 \pm 3 \text{ МэВ}$) можно заметить некоторые изменения параметров наблюдаемых состояний в различных реакциях. Не исключено: что такая зависимость связана как с динамикой процесса так и с различием начальных состояний, особенно существенных с точки зрения наблюдения широких состояний ${}^8, 10$. Однако, последний вопрос нуждается, по-видимому, в дополнительной проработке.

В отличие от рассмотренных реакций, анализ спектра протонов на ядре ${}^7\text{Li}$ (рис. 3) не выявил статистически значимых отклонений от расчетной кривой, которые можно было бы отнести к образованию ${}^6\text{H}$ в двухчастичной кинематике.

В заключение отметим, что информация о спектре возбуждения ${}^4\text{H}$, а также характере исследуемых процессов возможно будет уточнена и дополнена в рамках проводимого в настоящее время анализа корреляционных измерений. Тем не менее видно, что полученные нами данные (в том числе и на ядре ${}^9\text{Be}$) в целом не противоречат общей картине, которая следует из современных теоретических расчетов и указывает на непрерывное уменьшение энергии связи этих ядерных состояний с ростом A .

Авторы выражают благодарность профессору А.М.Горбатову за полезные обсуждения.

Литература

1. Горнов М.Г. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, 205.
2. *Belzgorov A.V. et al*, Nucl. Phys. A, 1986, 460, 352.
3. Горбатов А.М. и др. ЯФ, 1989, 50, 1551.
4. Горбатов А.М. и др. ЯФ, 1988, 48, 1255.
5. *Gornov M.G. et al*, NIM, 1984, 225, 42.
6. *Senhauser U. et al*, Phys. Lett., 1981, 103B, 409.
7. Коршенинников А.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 306.
8. Горбатов А.М. и др. ЯФ, 1989, 49, 144.
9. *Seth K.K.* Proc. 4th. Int. Conf. on Nuclei Far from Stability (Helsingov), 1981, CERN, 81-09, p. 655.
10. *Базь А.И. и др.* "Легкие и промежуточные ядра вблизи границ стабильности" Наука. 1972.

Московский инженерно-физический институт

Объединенный институт ядерных исследований

Институт ядерной физики им. Б.П.Константинова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
15 мая 1990 г.