

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



28/2-77

Б-287

P1 - 10273

786/2-77

Ю.А.Батусов, Л.Визирева, В.Б.Ковачева, П.Кюэр,
Ж.-П.Массюэ, Ф.Мирсалихова, В.М.Сидоров, Х.М.Чернев

ПОИСКИ НЕЙТРОННЫХ ЯДЕР
В ПРОЦЕССАХ ПОГЛОЩЕНИЯ π^- -МЕЗОНА
В ФОТОЭМУЛЬСИИ, ЗАГРУЖЕННОЙ ЛИТИЕМ-7

1976

P1 - 10273

Ю.А.Батусов, Л.Визирева,¹ В.Б.Ковачева,² П.Кюэр,³
Ж.-П.Массюэ,³ Ф.Мирсалихова,⁴ В.М.Сидоров, Х.М.Чернев²

ПОИСКИ НЕЙТРОННЫХ ЯДЕР
В ПРОЦЕССАХ ПОГЛОЩЕНИЯ π^- -МЕЗОНА
В ФОТОЭМУЛЬСИИ, ЗАГРУЖЕННОЙ ЛИТИЕМ-7

Направлено в ЯФ

-
- ¹ Высший химико-технологический институт, София.
 - ² Институт ядерных исследований и ядерной энергетики, София.
 - ³ Центр ядерных исследований, Страсбург-Кроненбург.
 - ⁴ Ташкентский политехнический институт.

Поиски нейтронных ядер в процессах поглощения π^- -мезона в фотоэмульсии, загруженной литием-7

В фотоэмульсии, загруженной ядрами ${}^7\text{Li}$, был проведен поиск нейтронных ядер в реакциях захвата π^- -мезонов: $\pi^- {}^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{n}$ и $\pi^- {}^7\text{Li} \rightarrow {}^3\text{He} + {}^4\text{n}$. Получено, что верхняя граница относительной вероятности образования ядер ${}^3\text{n}$ и ${}^4\text{n}$ в таких реакциях на 90% уровне достоверности не превышает $1,2 \cdot 10^{-3}$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Batusov Yu.A. et al.

P1 - 10273

Search for Neutron Nuclei in the π^- -Meson Absorption in Photoemulsion Loaded with ${}^7\text{Li}$

In photoemulsion loaded with ${}^7\text{Li}$, a search was made for the neutron nuclei in the reactions of π^- -meson capture: $\pi^- {}^7\text{Li} \rightarrow {}^3\text{He} + {}^4\text{n}$ and $\pi^- {}^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{n}$. It was found that the upper limit of the relative probability of production of ${}^3\text{n}$ and ${}^4\text{n}$ nuclei in such reactions with 90% confidence level does not exceed the value $1.2 \cdot 10^{-3}$.

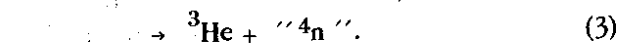
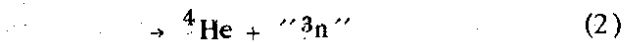
The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1976

Поиски ядер или резонансных состояний, куда входили бы одни лишь нейтроны, уже в течение более 10 лет являются темой различных экспериментальных и теоретических исследований^{/1,2/}. Особое место в таких исследованиях занимает вопрос о существовании легчайших нейтронных ядер. В настоящее время можно считать доказанным отсутствие ядерной системы, состоящей из двух нейтронов^{/1/}. Что же касается три-нейтрона, то имеются экспериментальные аргументы как в пользу его существования^{/3/}, так и против^{/4/}. Большое количество экспериментов было выполнено по поиску тетранейтронов, находящихся либо в основном, либо в возбужденном состоянии^{/2/}.

Рассмотрение всего набора имеющихся экспериментальных данных позволяет сделать вывод о малой вероятности существования в стабильном состоянии легчайших нейтронных ядер. Вопрос же о возможных ядерных состояниях типа резонансов до сих пор остается открытым. При таком положении новые эксперименты, посвященные исследованию многонейтронных систем, представляют большой интерес.

Данная работа посвящена поиску ядер, состоящих из трех или четырех нейтронов, образующихся при захвате отрицательного π -мезона ядрами ${}^7\text{Li}$. В реакциях поглощения π^- -мезонов ядрами ${}^7\text{Li}$ с вылетом только одной заряженной частицы, возможны три канала:



В случае образования связанных состояний тринейтрона или тетранейтрона эти каналы являются двухчастичными, что значительно облегчает их кинематический анализ.

Так, энергия ядра отдачи ${}^6\text{He}$ в реакции /1/ составляет 19,3 МэВ, а энергия ${}^4\text{He}$ и ${}^3\text{He}$ для каналов /2/ и /3/ в предположении нулевой энергии связи для ${}^3\text{n}$ и ${}^4\text{n}$ равна соответственно 54,9 и 60,2 МэВ. Ядра изотопов гелия с такой энергией под любыми углами вылета эффективно можно регистрировать в фотозмульсии.

Фотозмульсионные слои размером 5 x 5 см² и толщиной 600 мкм Ильфорд К-5, наполненные ядрами ${}^7\text{Li}$ в количестве 32 мг/см³ /5/, были изготовлены в Центре ядерных исследований Страсбурга-Кроненбурга /Франция/. Из этих слоев собрана фотозмульсионная камера объемом 5 x 5 x 1,7 см³. Для проведения фоновых измерений и контрольной проверки пробегов частиц в фотозмульсии два первых и два последних слоя в камере брались из стандартной, незагруженной эмульсии того же полива, что и вся камера.

Для корректировки соотношений пробег-энергия /6/ в загруженных фотозмульсионных слоях проведена калибровка эмульсии в пучках протонов с энергией 3 и 5 МэВ от ускорителей Ван-де-Граафа Центра ядерных исследований Страсбурга-Кроненбурга. Показано, что пробег заряженных частиц в результате загрузки эмульсии ядрами ${}^7\text{Li}$ увеличивается в среднем на 9%. Эмульсионная камера облучалась на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в пучке π^- -мезонов с энергией 113 МэВ. Плотность облучения составляет $1,5 \cdot 10^5$ мезон/см². Мезоны тормозились фильтром и останавливались в камере.

Проявленные фотозмульсионные слои просматривались под микроскопом с увеличением 200 X с целью регистрации звезд от захвата π^- -мезонов ядрами в фотозмульсии / σ -звезд/.

При просмотре фотозмульсионных слоев, заполненных ядрами ${}^7\text{Li}$, было зарегистрировано 709 однолучевых σ -звезд. Пробеги заряженных частиц в σ -звездах измерялись на микроскопе МБИ-9 с точностью 2 мкм для следов частиц < 100 мкм и с точностью 1,5% для

всех остальных. Распределение этих пробегов приведено на рис. 1; стрелками отмечены величины, соответствующие значениям пробегов изотопов гелия от двухчастичных реакций 1-3; пунктирной и штрихпунктирной гистограммами представлены статистические распределения пробегов ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ от многочастичных реакций $\pi^- + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^3\text{He} + 4\text{n}$ и $\pi^- + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + 3\text{n}$. Из рисунка видно, что в измеренном распределении пробегов вклад от двухчастичных реакций захвата π^- -мезонов ядрами ${}^7\text{Li}$ не обнаружен.

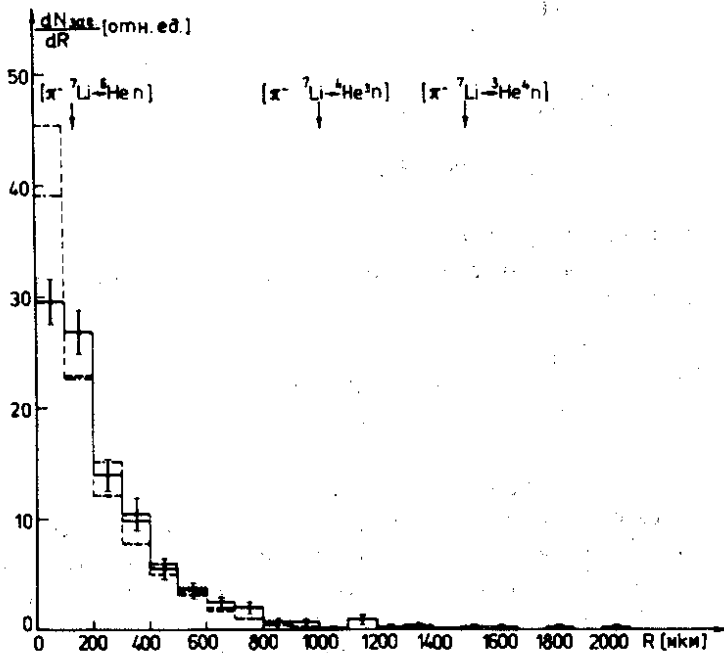


Рис. 1. Распределение числа случаев однолучевых σ -звезд в зависимости от пробега заряженных частиц R в эмульсии, загруженной ядрами ${}^7\text{Li}$. Отсутствуют 5 событий, находящихся в интервале 2300-4800 мкм. Стрелками отмечены величины пробегов изотопов гелия от двухчастичных реакций 1-3. Пунктир - статистическое распределение пробегов ${}^3\text{He}$ от реакции $\pi^- + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^3\text{He} + 4\text{n}$. Штрихпунктир - статистическое распределение пробегов ${}^4\text{He}$ от реакции $\pi^- + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + 3\text{n}$.

Используя распределение остановок π^- -мезонов по отдельным компонентам загруженной фотоэмульсии^{/7/} и соотношение числа захватов π^- -мезонов в легких и тяжелых ядрах^{/8/}, можно оценить верхнюю границу относительной вероятности образования ядер ${}^3\text{H}$ и ${}^4\text{He}$ в реакциях /2/ и /3/ с нулевой энергией связи.

Найдено, что на 90% уровне достоверности относительная вероятность

$$W_1 = \frac{\pi^- \text{ } ^7\text{Li} \rightarrow \text{}^4\text{H} \text{ } ^3\text{He}}{\pi^- \text{ } ^7\text{Li} \rightarrow \text{все каналы}}$$

и

$$W_2 = \frac{\pi^- \text{ } ^7\text{Li} \rightarrow \text{}^3\text{H} \text{ } ^4\text{He}}{\pi^- \text{ } ^7\text{Li} \rightarrow \text{}^3\text{H} \text{ } ^4\text{He}}$$

не превышает $1,2 \cdot 10^{-3}$.

Полученные оценки находятся в хорошем согласии с величиной

$$R = \frac{\pi^- \text{ } ^7\text{Li} \rightarrow \text{}^4\text{H} \text{ } ^3\text{He}}{\text{все реакции}} \leq 0,5 \cdot 10^{-3},$$

полученной в работе^{/9/}.

Однолучевые σ -звезды, зарегистрированные в загруженной фотоэмульсии, могут образовываться как на ${}^7\text{Li}$, так и на ядрах (C, N, O, Ag, Br), входящих в состав фотоэмульсии.

В разности двух отнормированных распределений пробегов заряженных частиц для однолучевых σ -звезд в загруженной и стандартной эмульсии можно попытаться выделить вклад событий на ядрах лития. С этой целью было зарегистрировано и измерено 713 однолучевых σ -звезд в стандартной эмульсии К-2 и НИКФИ БР-2 и построена разность двух отнормированных распределений в интервале пробегов /0-500/ мкм /рис. 2/.

Из рисунка следует, что разность двух распределений в пределах экспериментальных ошибок невелика

($\chi^2/\bar{\chi}^2 = 1,73$). Наибольшие отклонения от нуля наблюдаются в интервале пробегов /0-50/ мкм и /200-250/ мкм. Детальный анализ событий в этих интервалах показал, что в интервале /200-250/ мкм имеется пик при

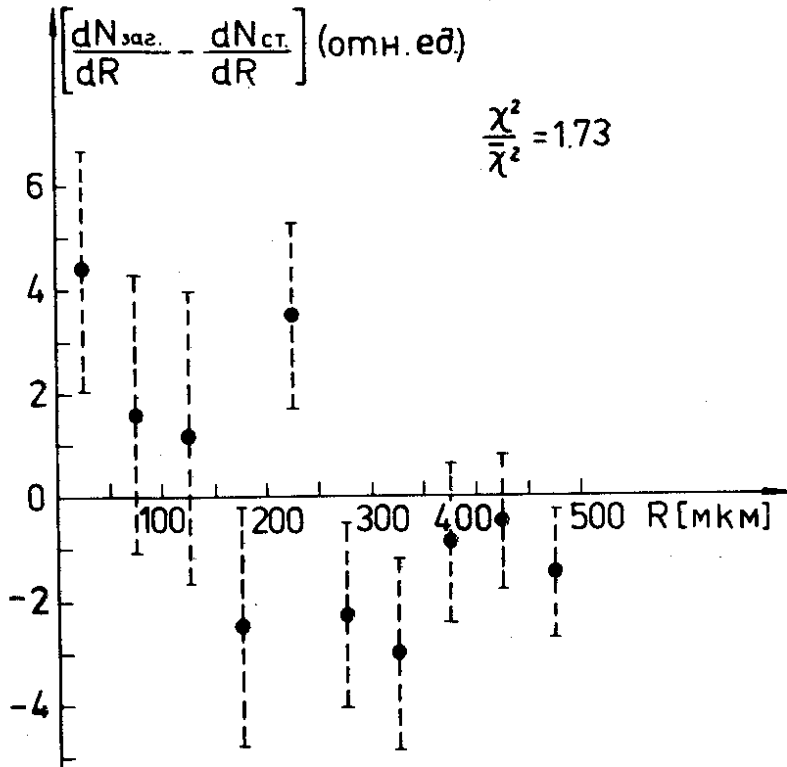


Рис. 2. Распределение разности двух отнормированных на одинаковую площадь распределений пробегов заряженных частиц для однолучевых σ -звезд в загруженной $[dN_{зар} / dR]$ и стандартной $[dN_{ст} / dR]$ фотоэмульсии.

220 мкм /рис. 3/. Если пытаться объяснить этот пик возможным существованием каналов реакций /2/ или /3/, то необходимо предположить образование ядер ^3H

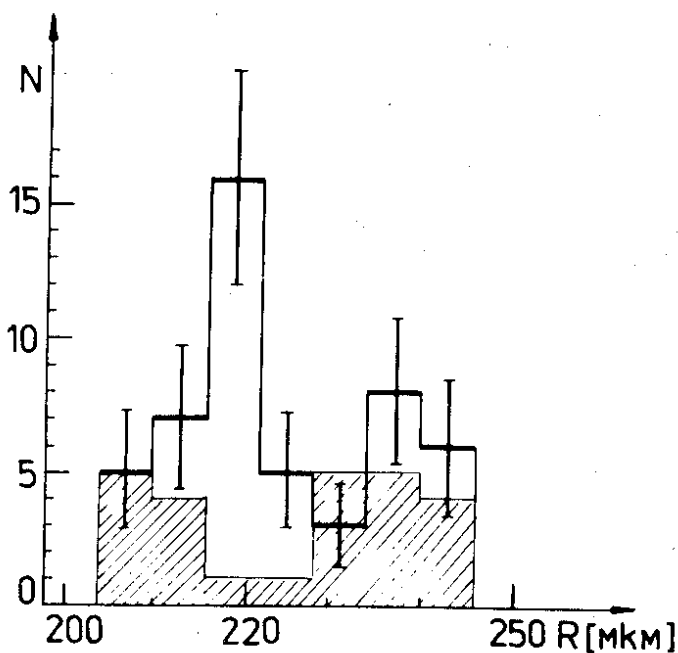


Рис. 3. Детальное распределение пробегов заряженных частиц в интервале 200-250 мкм. Сплошная гистограмма - однолучевые σ -звезды в загруженной эмульсии /50 событий/. Штриховкой представлено распределение пробегов для стандартной эмульсии /25 событий/.

или ${}^4\text{h}$ в возбужденных состояниях. Энергия возбуждения тринейтрона в реакции /2/ в этом случае будет равна 75 МэВ, а для тетранейтрона из реакции /3/ - 70 МэВ.

Однако, поскольку загрузка фотоэмульсии ядрами ${}^7\text{Li}$ увеличивает на 39% содержание кислорода и на порядок - содержание серы в составе эмульсии, то рассматриваемое отклонение в распределении разности пробегов однолучевых σ -звезд в загруженной и в нормальной эмульсии могут быть также с успехом объяснены увеличением вклада в однолучевые σ -звезды реакций захвата π^- -мезонов на ядрах ${}^{16}\text{O}$ и ${}^{32}\text{S}$ /10/.

Поэтому для окончательного решения вопроса о существовании возбужденных состояний легчайших нейтронных ядер необходимы дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования.

Литература

1. Я.Б.Зельдович. ЖЭТФ, 238, 1223 /1960/;
А.И.Базь, В.И.Гольданский, Я.Б.Зельдович. УФН, 85, 465 /1965/;
Т.С.Танг, В.Ф.Бауман. Phys. Rev.Lett., 15, 165 /1965/; Р.Е.Арган, G.C.Mantovani et al. Suppl. Nuov. Cim., 3, 245 /1965/.
Ю.А.Батусов, Б.Ж.Залиханов, В.М.Сидоров, Д.Тувдендорж, В.А.Ярба. ЯФ, 11, 736 /1970/.
2. Ю.А.Батусов, Ж.Ганзориг, Л.Гумнерова, И.В.Дудова, В.М.Сидоров, В.А.Халкин, Д.Чултэм. Сообщения ОИЯИ, P1-7475, Дубна, 1973.
3. V.Ajdacic, M.Cerineo et al. Phys. Rev.Lett., 14, 444 /1965/.
4. J.Sperinde, D.Fredrichson, V.Perez-Mendez. Phys. Rev., C12, 374 /1975/.
5. См., например, D.H.Davis, R.S.Setti et al. IV Int. Conf. on Corpuscular Photography. München, 1962, p. 273.
6. W.H.Barkas, P.H.Barett et al. Nuovo Cim., 8, 185 /1958/.
7. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЯФ, 6, 1151 /1967/.
8. M.Demeur et al. Nuovo Cim., 4, 509 /1965/.
9. R.C.Cohen, A.D.Kanaris et al. Phys.Lett., 16, 292 /1965/.
10. P.H.Fowler, V.M.Mayers. Proc. Phys. Soc., 92, 377 /1967/.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 декабря 1976 года.