

А-23

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1 - 6857

АГАБАБЯН  
Норайр Мигранович

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ  
С ОБРАЗОВАНИЕМ  $^8\text{Li}$  И  $^8\text{B}$  ПРИ ЗАХВАТЕ  
 $\Pi^-$ -МЕЗОНОВ ЯДРАМИ  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{16}\text{O}$

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1972

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем  
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:  
кандидат физико-математических наук В.А.Ярба

Официальные оппоненты:  
доктор физико-математических наук, профессор В.И.Остроумов,  
кандидат физико-математических наук Н.С.Зеленская

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Ленинградский институт ядерной физики АН СССР.

Автореферат разослан " " 1973 года

Защита диссертации состоится " " 1973 г. в  
" " часов на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных  
проблем ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических  
наук

В.А.Батусов

1 - 6857

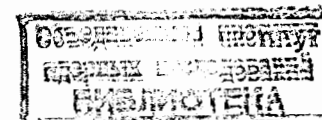
АГАБАБЯН  
Норайр Мигранович

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИЙ  
С ОБРАЗОВАНИЕМ  ${}^8\text{Li}$  И  ${}^8\text{B}$  ПРИ ЗАХВАТЕ  
 $\Pi^-$ -МЕЗОНОВ ЯДРАМИ  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{16}\text{O}$

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Поглощение  $\Pi$ -мезонов ядрами является эффективным средством для изучения двух важных вопросов физики атомного ядра и элементарных частиц: механизма поглощения мезонов и структуры ядра. Экспериментальное исследование определенных каналов реакций позволяет выделить и определить относительные вклады различных механизмов в процесс поглощения  $\Pi$ -мезонов. Для получения полной информации о всех вторичных частицах наиболее удобным является метод ядерных эмульсий, позволяющий регистрировать малознергичные продукты развала ядер. Изучение реакций с образованием ядер  ${}^8\text{He}$ ,  ${}^8\text{Li}$  и  ${}^8\text{B}$ , оставляющих в эмульсии характерные Т-образные следы, значительно облегчает идентификацию и ограничивает число возможных каналов.

В диссертации изложены результаты исследований поглощения остановившихся  $\Pi^-$ -мезонов ядрами  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{16}\text{O}$  с образованием ядер  ${}^8\text{Li}$  и  ${}^8\text{B}$ .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Основные результаты опубликованы в препринтах ОИЯИ и журнале "Ядерная физика"/I-6/, докладывались на III и IV Международных конференциях по физике высоких энергий и структуре ядра в Нью-Йорке (1969г.) и Дубне (1971г.), а также на Всесоюзной конференции по ядерным реакциям при высоких энергиях в Тбилиси (1972 г.).

Диссертация состоит из четырех глав. Во введении к диссертации дан краткий обзор работ, посвященных исследованию поглощения  $\Pi^-$ -мезонов легкими ядрами.

В первой главе изложены методические вопросы, связанные с постановкой эксперимента и обработкой полученных экспериментальных данных.

В экспериментах использовались фотоэмульсионные камеры размерами  $10 \times 5 \times 2,5 \text{ см}^3$ , составленные из слоев эмульсии НИКФИ-БР толщиной 600 мкм. Камеры облучались на синхротронном ОИЯИ в пучке  $\pi^-$ -мезонов с энергией 80 Мэв.  $\pi^-$ -мезоны тормозились до остановки в середине камеры. Плотность облучения составляла  $2 \cdot 10^5 \text{ мез/см}^2$ . Зона остановок  $\pi^-$ -мезонов шириной 1 см просматривалась под микроскопом с увеличением 225х. Регистрировались  $\sigma^-$ -звезды с Т-образным следом. В результате просмотра было найдено 18 000 событий. Метод поиска по Т-образным следам позволяет выделять захваты  $\pi^-$ -мезонов легкими ядрами (C, N, O), так как выход фрагментов ( $^8\text{He}$ ,  $^8\text{Li}$ ,  $^8\text{B}$ ) из тяжелых ядер (Ag, Br) имеет малую вероятность из-за кулоновского барьера. Были измерены все двухлучевые события и часть трехлучевых и многолучевых событий с Т-образным следом, всего 3 800 случаев. Результаты измерений вводились в ЭВМ БЭСМ-6 и обрабатывались с помощью системы программ.

Для кинематического анализа реакций на легких ядрах в фотоэмульсии была разработана специальная программа, в которой производилась геометрическая реконструкция событий, а для их кинематического анализа использовался метод наименьших квадратов. Программа написана на языке "Фортран" и применялась на ЭВМ БЭСМ-6.

Выделение каналов реакций проводилось с помощью критерия  $\chi^2$ . Все экспериментальные данные, полученные в результате облучения, записывались на магнитную ленту. Дальнейший анализ событий с использованием различных критериев выделения каналов реакций производился при работе с магнитной лентой.

Для основных реакций с образованием  $^8\text{Li}$  на ядрах C, N, O были получены энергетические и угловые распределения всех вторичных частиц, а также распределения по эффективным массам различных сис-

тем в конечном состоянии. Для построения полученных экспериментальных распределений и распределений по фазовому объему с помощью метода Монте-Карло использовались стандартные программы, приспособленные для ЭВМ БЭСМ-6.

Изложен метод определения истинного числа событий для исследуемых реакций.

В целом, в первой главе описана разработанная нами процедура обработки экспериментальных данных, полученных с помощью эмульсионных камер, которая позволяет эффективно использовать возможности современных ЭВМ.

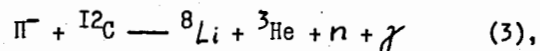
Вторая глава посвящена исследованию реакций с образованием  $^8\text{Li}$  при поглощении  $\pi^-$ -мезонов ядрами углерода. В работах [7-8], где изучалась реакция  $\pi^- + ^{12}\text{C} \rightarrow ^8\text{Li} + ^3\text{He} + n$  (1), относительная вероятность которой  $W = (4.4 \pm 0.2) \cdot 10^{-4}$ , был сделан вывод о том, что в этом канале поглощение  $\pi^-$ -мезонов происходит на четырехнуклонной ассоциации  $^4\text{Li}$ .

В данной работе исследованы все возможные каналы реакций с образованием  $^8\text{Li}$  на углероде и установлено, что главным каналом является  $\pi^- + ^{12}\text{C} \rightarrow ^8\text{Li} + ^2\text{H} + p + n$  (2). Вероятность реакции (2) равна  $W = (2.3 \pm 0.2) \cdot 10^{-3}$  и в пять раз превышает вероятность реакции (1).

В распределениях по эффективной массе и углу разлета системы ( $^2\text{H}, p, n$ ) для реакции (2) наблюдается сильное отличие от соответствующих распределений по фазовому объему (рис.1).

Для выяснения механизма поглощения, который имеет место в реакции (2), нами был проведен анализ экспериментальных данных по теории прямых ядерных реакций с использованием много-

частичной оболочечной модели ядра с  $LS$  связью.<sup>19/</sup> Анализ показал, что доминирующим механизмом в реакции  $\pi^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{Li} + {}^2\text{H} + p + n$ , как и в реакции (1), является поглощение  $\pi^-$ -мезонов четырехнуклонной ассоциацией  ${}^4\text{Li}$ . Произведен поиск реакции радиационного захвата  $\pi^-$ -мезонов ядрами углерода с образованием  ${}^8\text{Li}$ :



относительная вероятность которой получена равной  $W = (2.3 \pm 1) \cdot 10^{-5}$ .

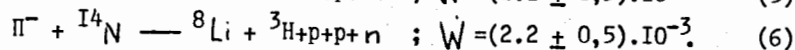
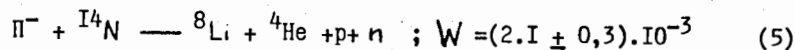
В третьей главе рассмотрены каналы захвата  $\pi^-$ -мезонов ядрами азота с образованием  ${}^8\text{B}$  и  ${}^8\text{Li}$ . Показано, что  ${}^8\text{B}$  образуется, в основном, при захвате  $\pi^-$ -мезонов ядрами  ${}^{14}\text{N}$ . Суммарная относительная вероятность образования  ${}^8\text{B}$  в реакциях на азоте равна:

$$W(\pi^- + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^8\text{B} + \begin{matrix} p+5n \\ 2\text{H}+4n \\ 3\text{H}+3n \end{matrix}) = (1.2 \pm 0.1) \cdot 10^{-3}. \quad (4)$$

Представлялось интересным произвести поиски многонейтронных связанных ядер  ${}^3n$ ,  ${}^4n$ ,  ${}^5n$  (с энергией связи 1 Мэв), а также нейтроноизбыточного изотопа водорода  ${}^6\text{H}$ . Получены верхние границы относительных вероятностей образования таких систем в реакциях:

$$\begin{aligned} W(\pi^- + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^8\text{B} + p + 5n) &< 1 \cdot 10^{-5} \\ W(\pi^- + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^8\text{B} + 2\text{H} + 4n) &< 1 \cdot 10^{-5} \\ W(\pi^- + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^8\text{B} + 3\text{H} + 3n) &< 1 \cdot 10^{-5} \\ W(\pi^- + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^8\text{B} + 6\text{H}) &< 5 \cdot 10^{-6}. \end{aligned}$$

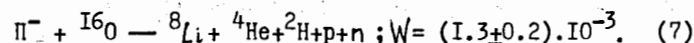
При изучении реакций с образованием  ${}^8\text{Li}$  на ядрах азота найдено, что основными каналами являются



В распределениях по эффективной массе и углу разлета систем ( ${}^4\text{He}, n$ ) и ( ${}^4\text{He}, p, n$ ) (рис.2) для реакции (5) и системы ( $pp, n$ ) для реакции (6) наблюдалось заметное отличие от аналогичных распределений по фазовому объему.

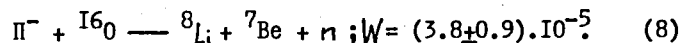
Анализ экспериментальных данных в рамках теории прямых ядерных реакций показал, что в реакции (5) существенную роль играет поглощение мезонов на различных нуклонных ассоциациях: на ( $pp$ ) паре, на ассоциациях  ${}^5\text{Li}$  и  ${}^6\text{Be}$ . Теоретические расчеты с учетом этих трех механизмов для энергетических спектров  ${}^4\text{He}$  и нейтрона в реакции  $\pi^- + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^8\text{Li} + {}^4\text{He} + p + n$  удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными (рис.3). Реакцию (6) не удалось полностью описать, учитывая только двух- и трехчастичные механизмы поглощения  $\pi^-$ -мезонов.

Результаты исследования реакций с образованием  ${}^8\text{Li}$  при захвате  $\pi^-$ -мезонов ядрами кислорода изложены в четвертой главе. Показано, что основным каналом для этих реакций является



В распределении по энергии относительного движения (эффективной массе) и углу разлета системы ( ${}^2\text{H}, n$ ) (рис.4) отмечено существенное отличие от распределений по фазовому объему. Сравнение этих распределений с аналогичными распределениями для реакции (2):  $\pi^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{Li} + 2\text{H} + p + n$  указывало на то, что в обеих реакциях осуществляется одинаковый механизм поглощения. Действительно, анализ экспериментальных данных по теории прямых ядерных реакций показал, что в реакции  $\pi^- + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^8\text{Li} + {}^4\text{He} + 2\text{H} + p + n$  имеет место тот же механизм поглощения на четырехнуклонной ассоциации  ${}^4\text{Li}$ , что и в реакции (2).

Исследована трехчастичная реакция с  ${}^8\text{Li}$  на  ${}^{16}\text{O}$ :



Она интересна с точки зрения определения вклада восьминуклонного механизма при поглощении  $\pi^-$ -мезонов. Характер энергетических и угловых распределений реакции (8) указывает на наличие в этом канале механизма поглощения  $\pi^-$ -мезонов восьминуклонной ассоциацией  ${}^8\text{B}$ .

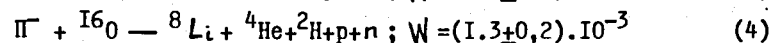
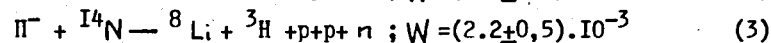
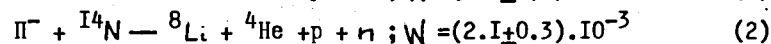
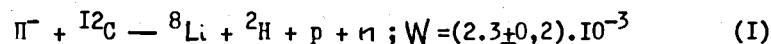
В заключении диссертации приведены основные результаты и выводы:

1. Разработана программа кинематического анализа ядерных реакций в фотоэмульсии и внедрена система обработки экспериментальных данных, эффективно использующая возможности современных ЭВМ.

2. Зарегистрировано 18 000  $\sigma$ -звезд с Т-образным следом, образованных в результате поглощения остановившихся  $\pi^-$ -мезонов легкими ядрами (C, N, O) в фотоэмульсии.

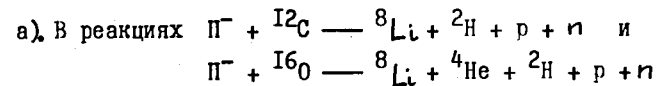
Проведен кинематический анализ 3 800 событий с испусканием  ${}^8\text{Li}$  и  ${}^8\text{B}$  с множественностью вторичных заряженных частиц  $\geq 2$ . Определены относительные вероятности всех возможных каналов реакций с образованием  ${}^8\text{Li}$  на ядрах  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{16}\text{O}$ .

3. Для основных каналов реакций:



получены энергетические и угловые распределения вторичных частиц, распределения по эффективным массам систем вторичных частиц.

Теоретический анализ экспериментальных данных по реакциям (1-4) в рамках теории прямых ядерных реакций показал:



существенную роль играет поглощение на четырехнуклонной ассоциации  ${}^4\text{Li}$ ;

б). В реакции  $\pi^- + {}^{14}\text{N} \longrightarrow {}^8\text{Li} + {}^4\text{He} + p + n$  кроме двухнуклонного механизма поглощения (на (pp) паре) важную роль играют также механизмы поглощения мезонов более сложными нуклонными ассоциациями:  ${}^5\text{Li}$ ,  ${}^6\text{Be}$ .

4. Совокупность полученных экспериментальных данных удовлетворительно описывается теорией прямых ядерных реакций и указывает на существенную роль многонуклонного механизма в реакциях поглощения  $\pi^-$ -мезонов легкими ядрами ( ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{16}\text{O}$ ) с образованием фрагмента  ${}^8\text{Li}$ .

5. Показано, что ядра  ${}^8\text{B}$  образуются, в основном, при поглощении  $\pi^-$ -мезонов ядрами  ${}^{14}\text{N}$ . Определена суммарная относительная вероятность образования  ${}^8\text{B}$  на ядрах  ${}^{14}\text{N}$ :

$$W(\pi^- + {}^{14}\text{N} \longrightarrow {}^8\text{B} + \begin{matrix} p + 5n \\ 2\text{H} + 4n \\ 3\text{H} + 3n \end{matrix}) = (1.20 \pm 0.1) \cdot 10^{-3}.$$

Проведен поиск связанных многонейтронных систем ( ${}^3\text{n}$ ,  ${}^4\text{n}$ ,  ${}^5\text{n}$ ) и изотопа  ${}^6\text{n}$  в реакциях на ядрах азота. Найдено, что эти связанные состояния не образуются в изучаемых реакциях с вероятностью, большей  $10^{-5}$ .

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Н.М.Агабабян, Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, Ч.М.Чернев, Р.Сшер, Ж.-Р.Массюэ, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. Сообщение ОИЯИ, ЕИ-4492, Дубна, 1969.
2. Н.М.Агабабян, Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, Н.Ф.Голованова, П.Кюэр, Ж.-П.Массюэ, В.М.Сидоров, Х.М.Чернев, В.А.Ярба. ЯФ, 13, 283 (1971); Препринт ОИЯИ Р15-5077, Дубна, 1970.
3. Н.М.Агабабян, Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, Г.Р.Гулканян, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. Сообщение ОИЯИ, IO-589I, Дубна, 1971
4. Н.М.Агабабян, Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, Г.Р.Гулканян, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЯФ, 15, 18 (1972). Препринт ОИЯИ, Р1-5892, Дубна, 1971.
5. Н.М.Агабабян, Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.И.Генчев, Н.Ф.Голованова, Г.Р.Гулканян, В.М.Сидоров, Х.М.Чернев, В.А.Ярба. Препринт ОИЯИ, Р1-6796, Дубна, 1972,
6. Н.М.Агабабян, Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.И.Генчев, Н.Ф.Голованова, Г.Р.Гулканян, В.М.Сидоров, Х.М.Чернев, В.А.Ярба. Препринт ОИЯИ, Р1-6797, Дубна, 1972
7. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЯФ, 6, 1151 (1967)
8. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, Р.С.Чайка, Х.М.Чернев, В.А.Ярба. ЯФ, 10, 354 (1969); Препринт ОИЯИ, Р1-4309, Дубна, 1969г.
9. В.Г.Неудачин, Ю.Ф.Смирнов "Нуклонные ассоциации в легких ядрах" Москва, "Наука", 1969 г.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 декабря 1972 года.

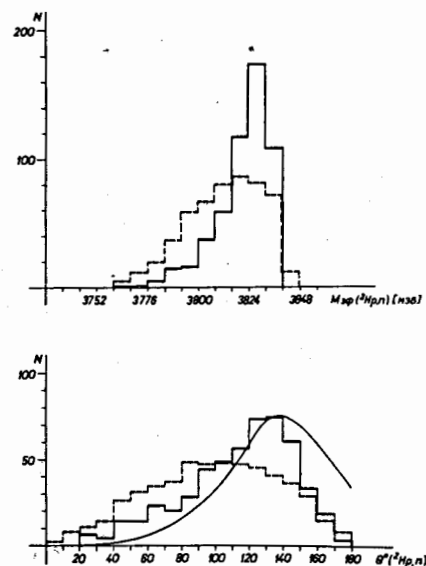


Рис. I - Распределение по эффективной массе и углу разлета системы  $({}^2\text{H}p, n)$  для реакции  $\pi^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{Li} + 2\text{H} + n$ .  
Пунктир - распределение по фазовому объему.  
Сплошная кривая - теоретический расчет для поглощения на ассоциации  ${}^7\text{Li} / 8 /$

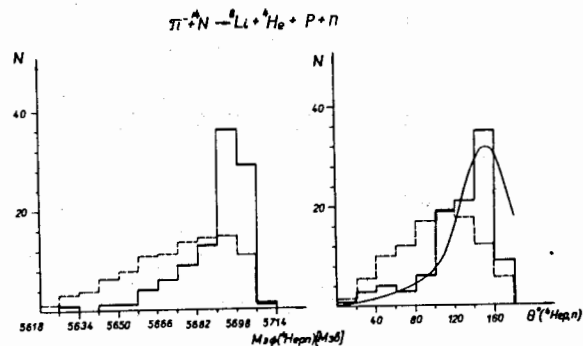


Рис.2 - Распределение по эффективной массе и углу разлета системы ( ${}^4\text{He}, n$ ) для реакции  $\pi^- + {}^4\text{He} \rightarrow {}^8\text{Li} + {}^4\text{He} + p + n$ .  
Пунктир - распределение по фазовому объему.  
Сплошная кривая - теоретический расчет для поглощения на ассоциации  ${}^6\text{Be}$ .

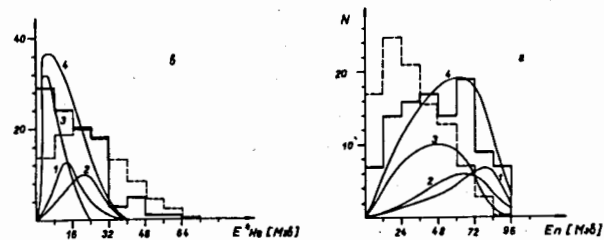


Рис.3 - Энергетические спектры  ${}^4\text{He}$  и нейтрона в реакции  $\pi^- + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^8\text{Li} + {}^4\text{He} + p + n$ .

Пунктир - распределение по фазовому объему.  
Сплошная кривая - теоретический расчет:

- 1) поглощение на ассоциации  ${}^6\text{Be}$ ;
- 2) поглощение на ассоциации  ${}^5\text{Li}$ ;
- 3) поглощение на (pp) паре;
- 4) суммарный спектр

$$W^1 : W^2 : W^3 = 1 : 1 : 2.$$

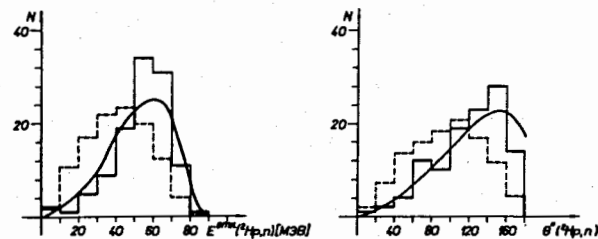


Рис.4 - Распределение по энергии относительного движения (эффективной массе) и углу разлета системы ( ${}^2\text{He}, n$ ) для реакции  $\pi^- + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^8\text{Li} + {}^4\text{He} + {}^2\text{He} + p + n$ .

Пунктир - распределение по фазовому объему.  
Сплошная кривая - теоретический расчет для поглощения на ассоциации  ${}^4\text{Li}$ .