

СЗ43
Н-41

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

Б. С. НЕГАНОВ

Исследование реакции $p + p \rightarrow d + \pi^+$ в области
энергии 460÷900 Мэв

Автореферат диссертаций, представленной на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук.

Научный руководитель—член-корреспондент АН СССР, профессор

М. Г. МЕЩЕРЯКОВ

г. Дубна, 1958 г.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

Б. С. НЕГАНОВ

С 343

Н-41

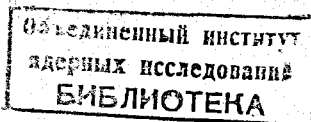
1777/88

Исследование реакции $p + p \rightarrow d + \pi^+$ в области
энергии 460÷900 Мэв

Автореферат диссертаций, представленной на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук.

Научный руководитель—член-корреспондент АН СССР, профессор

М. Г. МЕЩЕРЯКОВ

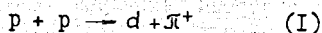


г. Дубна, 1958 г.

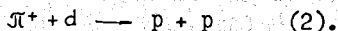
В в е д е н и е

Развитие техники ускорения заряженных частиц сделало возможным исследование процессов образования и взаимодействия π -мезонов в элементарных актах, составляющих в настоящее время предмет изучения новой области ядерной физики — мезонной физики. Первые исследования в этой области показали, что проблема ядерных сил неразрывно связана с π -мезонами и не может быть решена без детального изучения законов образования и взаимодействия этих частиц с нуклонами.

Основные сведения о свойствах π -мезонов были получены в 1950–1951 годах путем исследования взаимодействия их при остановке с протонами и дейтронами и процессов образования в реакции



и поглощения в обратной реакции



Было установлено, что все три π -мезона являются псевдоскалярными частицами и могут быть описаны как изотопический триплет. Распространение гипотезы изотопической инвариантности на π -мезоны привело к ряду важных следствий, значительно упрощающих задачу исследования образования и взаимодействия этих частиц с нуклонами. Было установлено, что взаимодействие π -мезонов с нуклонами в состоянии с изотопическим спином $3/2$ и полным моментом $3/2$ является резонансным, и полное сечение достигает максимально возможной величины $\sigma = 8\pi\lambda^2$ при энергии π -мезонов примерно 185 Мэв. Аналогичные результаты были получены при исследовании процесса фотообразования π -мезонов на свободных нуклонах.

Изучение процессов образования π -мезонов в нуклонных столкновениях, являющихся более сложными, чем фотообразование и взаимодействие π -мезонов с нуклонами, представляет самостоятельный интерес. Экспериментальные данные в этой области пока еще весьма отрывочны. При энергии вблизи порога было установлено, что основную роль играет взаимодействие между нуклонами в конечном состоянии, определяющее форму спектра образующихся мезонов и приводящее даже к образованию связанного состояния нуклонов (реакция (1)).

Предлагаемая работа посвящена изучению реакции (1) при энергии протонов в области 460-900 Мэв и является итогом исследований, выполненных в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в период с 1952 по 1957 г.

В первой главе описаны основные экспериментальные результаты, полученные в зарубежных лабораториях к началу экспериментов на синхротроне Лаборатории ядерных проблем.

Во второй главе рассмотрены некоторые теоретические вопросы, касающиеся исследуемой реакции.

Третья и четвертая главы посвящены описанию экспериментов при энергии 460 + 660 Мэв^{1,2,3}). Обнаруженная в них резонансная зависимость функции возбуждения реакции (1) указывала на тесную связь между процессом взаимодействия π -мезонов с нуклонами и образованием π -мезонов в нуклонных столкновениях. Для доказательства этого факта требовалось дальнейшее исследование реакции при еще больших энергиях. С этой целью были выполнены опыты по изучению обратной реакции (2) в области энергии π -мезонов (74-307 Мэв⁴), что было эквивалентно исследованию прямой реакции в области энергии налетающих протонов 630 + 900 Мэв. Описание этих экспериментов дано в пятой главе.

В шестой главе обсуждаются полученные результаты.

Метод исследования и постановка опытов

Исследование реакции $p + p \rightarrow d + \pi^+$ (1) и обратной ей $\pi^+ + d \rightarrow p + p$ (2) было выполнено методом сопряженных телескопов, заключающимся в регистрации двух вторичных частиц, возникающих в результате реакций (1) и (2) двумя детекторами-телескопами, включен-

ными на совпадение. Поскольку углы испускания вторичных частиц от реакций (1) и (2), в силу законов сохранения энергии и импульса, связаны определенными соотношениями, то такой метод позволяет сравнительно легко идентифицировать отдельные акты реакций (1) и (2) на фоне других процессов, происходящих при столкновении протонов или π -мезонов с ядрами мишени. По этой же причине является несущественным присутствие в мишени посторонних ядер.

Реакция (1) осуществлялась облучением выведенным пучком протонов полиэтиленовых мишеней (см.рис.1). Интенсивность пучка контролировалась ионизационной камерой, прокалиброванной с помощью цилиндра

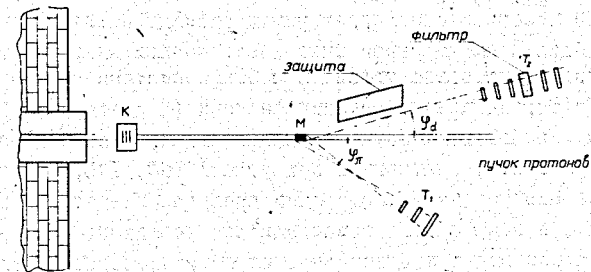


Рис. 1 Схема установки для наблюдения реакции $p + p \rightarrow d + \pi^+$ при энергии 657 Мэв.

Фарадея в специальном опыте. Аппаратура для наблюдения реакции состояла из двух телескопов T_1 и T_2 , составленных из сцинтилляционных счетчиков. Телескоп T_1 , предназначенный для регистрации π -мезонов, состоял из трех счетчиков, включенных в схему тройных совпадений. Дейтронный телескоп T_2 для наблюдения реакции при энергии 460 Мэв был аналогичен телескопу T_1 . Напряжение на счетчиках дейтронного телескопа и порог срабатывания совпадений были отрегулированы так, что протоны, попадающие в телескоп в результате дифракционного

рассеяния на ядрах углерода, еще не регистрировались, в то время как эффективность регистрации дейтронов была близка к 100%. При наблюдении реакции в области энергии 510-660 Мэв для регистрации дейтронов использовался телескоп, составленный из пяти счетчиков, из которых два последние, работающие на совпадение, были включены на антисовпадение с тремя первыми, регистрирующими дейтроны. Между первой группой счетчиков и двумя последними помещался фильтр достаточный для полного торможения дейтронов, но пропускающий упруго рассеянные протоны. Этот прием позволил существенно понизить уровень фона случайных совпадений без изменения эффективности регистрации дейтронов.

Эффект, обусловленный реакцией (I), определялся по разности скоростей счета совпадений между телескопами от полиэтиленовой и графитовой мишеней. В результате измерений вносились поправки, учитывающие вклад от реакции $p + p \rightarrow n + p + \pi^+$, определенные экспериментальным путем, а также поправки, учитывающие поглощение дейтронов и π -мезонов в мишени и сцинтилляторах и распад π -мезонов на леву. Угловое распределение π -мезонов было измерено при энергии протонов 460 и 657 Мэв в интервале углов $30 \pm 90^\circ$ в системе центра масс (с.ц.м.). Дифференциальные сечения реакции (I) для углов 10, 20, 30 и 40° в с.ц.м. при энергии 657 Мэв были определены на основании спектров π^+ -мезонов, полученных под углами 160, 140, 123 и 108° в лабораторной системе путем измерений пробегов π -мезонов в графитовых фильтрах. В этих опытах использовался телескоп, составленный из четырех сцинтилляционных счетчиков, из которых последний был включен в схему антисовпадений с тремя первыми, включенными в схему тройных совпадений.

Полное сечение реакции (I) в промежуточной области энергии определялось по дифференциальному сечению под углом 50° в с.ц.м.

Для исследования обратной реакции (2) в области энергии π -мезонов 174 + 307 Мэв интенсивный пучок мезонов получался в результате облучения выведенным пучком протонов с энергией 660 Мэв полиэтиленовой мишени. Мезоны, образованные в результате реакции (I) и испущенные под углом 7° по отношению к пучку протонов, отбирались с помощью магнитного спектрометра. Протоны, падающие на мишень, и π -мезоны фокусировались квадрупольными магнитными линзами, в результате чего интенсивность мезонного пучка была увеличена примерно в 5 раз.

Реакция (2) осуществлялась облучением пучком π^+ -мезонов мишени из тяжелой воды. Интенсивность мезонного пучка контролировалась с помощью телескопа из трех сцинтилляционных счетчиков, установленного под углом 15° к пучку. Энергия π -мезонов и примесь в пучке π -мезонов и протонов определялись путем измерений поглощения мезонов в медных фильтрах. Аппаратура для наблюдения реакции состояла из четырех групп счетчиков. Каждая группа состояла из двух телескопов, составленных из сцинтилляционных счетчиков по два счетчика в каждом. Это позволило производить измерения дифференциальных сечений реакции (2) одновременно под четырьмя углами. Эффект от реакции (2) определялся по разности скоростей счета совпадений между телескопами от мишеней из тяжелой и обычной воды. Эффекты от других реакций, происходящих при столкновении π -мезонов с дейтронами, исключались с помощью медных фильтров, помещенных между счетчиками телескопов. Поправки на поглощение протонов от реакции (2) в фильтрах были определены экспериментально. В результате измерений были внесены поправки, учитывающие поглощение протонов в мишени и сцинтилляторах, ослабление пучка мезонов в мишени и примесь в пучке других частиц.

Результаты

Угловое распределение π -мезонов от реакции (I) в с.ц.м., измеренное при энергии 460 и 657 Мэв, показано на рис.2 и рис.3, соответственно. При энергии 460 Мэв оно аппроксимируется выражением:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = [(0,24 \pm 0,03) + \cos^2 \theta] \cdot (2,13 \pm 0,2) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2/\text{стерад},$$

а при энергии 657 Мэв

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = [(0,23 \pm 0,03) + \cos^2 \theta] \cdot (4,35 \pm 0,25) \cdot 10^{-28} \text{ см}^2/\text{стерад},$$

коэффициенты которых были подобраны по методу наименьших квадратов.

Полные сечения в единицах 10^{-27} см^2 , полученные в области 460 + 657 Мэв, даны в таблице:

460	510	562	586	610	634	657
$1,54 \pm 0,16$	$1,13 \pm 0,25$	$2,64 \pm 0,21$	$2,98 \pm 0,23$	$3,13 \pm 0,22$	$3,17 \pm 0,21$	$3,1 \pm 0,2$

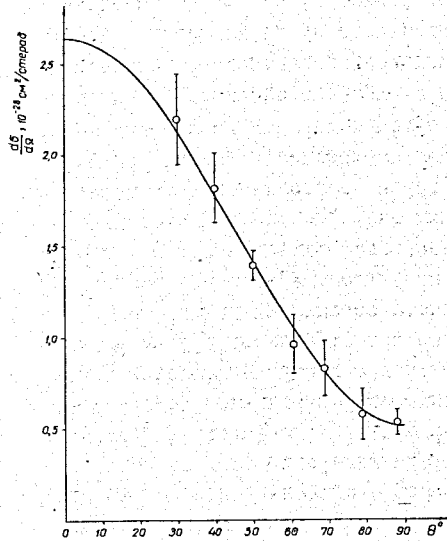


Рис.2 Угловое распределение π^+ -мезонов от реакции $p-p \rightarrow d-\pi^+$ при энергии 460 Мэв.

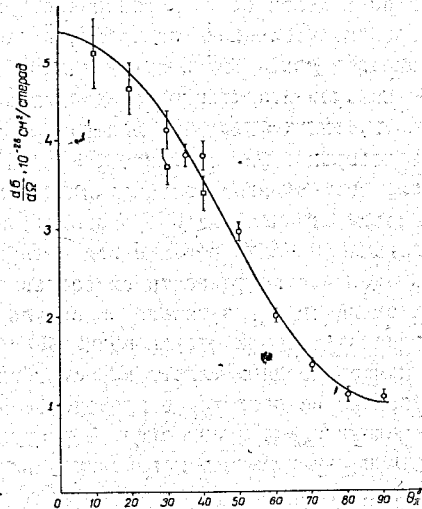


Рис.3 Угловое распределение мезонов от реакции $p-p \rightarrow d-\pi^+$ при энергии протонов 657 Мэв.

Угловые распределения протонов от реакции (2) могут быть представлены в с.ц.м. в виде $A + \cos^2\theta$ со следующими коэффициентами, полученными по методу наименьших квадратов:

$E_{п(л.с.)} = 174 \text{ Мэв}; \frac{dG}{dQ} = [(0,31 \pm 0,03) + \cos^2\theta] (2,54 \pm 0,15) 10^{-27} \text{ см}^2/\text{стер.}$
 $E_{п(л.с.)} = 200 \text{ Мэв}; \frac{dG}{dQ} = [(0,35 \pm 0,03) + \cos^2\theta] (1,76 \pm 0,11) 10^{-27} \text{ см}^2/\text{стер.}$
 $E_{п(л.с.)} = 227 \text{ Мэв}; \frac{dG}{dQ} = [(0,49 \pm 0,03) + \cos^2\theta] (1,03 \pm 0,06) 10^{-27} \text{ см}^2/\text{стер.}$
 $E_{п(л.с.)} = 262 \text{ Мэв}; \frac{dG}{dQ} = [(0,49 \pm 0,06) + \cos^2\theta] (0,66 \pm 0,04) 10^{-27} \text{ см}^2/\text{стер.}$
 $E_{п(л.с.)} = 307 \text{ Мэв}; \frac{dG}{dQ} = [(0,59 \pm 0,07) + \cos^2\theta] (0,29 \pm 0,02) 10^{-27} \text{ см}^2/\text{стер.}$

Полные сечения реакции (I), полученные на основании принципа детального равновесия, равны $(3,05 \pm 0,23)$, $(2,5 \pm 0,18)$, $(1,93 \pm 0,14)$, $(1,33 \pm 0,12)$ и $(0,80 \pm 0,08)$ в единицах 10^{-27} см^2 при энергиях протонов 633, 690, 743, 812 и 903 Мэв, соответственно.

Зависимость полного сечения реакции (I) от импульса мезона в с.ц.м., выраженного в единицах mc , показана на рис.4. Функция возбуждения реакции (I) имеет вид, аналогичный зависимости полного сечения взаимодействия π -мезонов с нуклонами в состоянии $3/2, 3/2$. Кривая, приведенная на рис.4, рассчитана по резонансной теории образования мезонов (II).

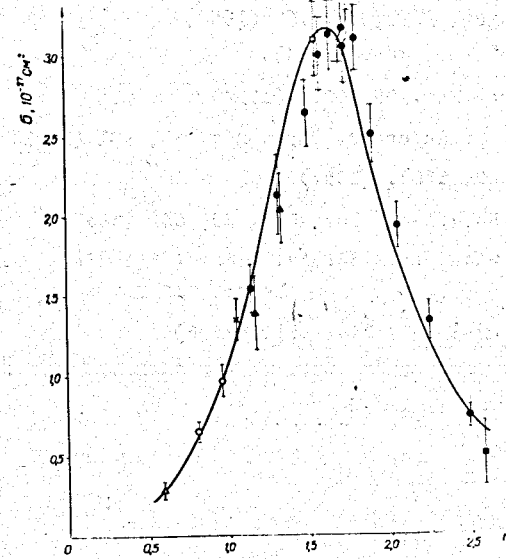


Рис.4 Зависимость полного сечения реакции $p-p \rightarrow d-\pi^+$ от импульса мезона

• - данная работа, ○ - [7], ▲ - [5], △ - [9]
 ■ - [10], □ - [8], * - [6]

Результаты изучения реакции $p+p \rightarrow d+\pi$ можно подытожить следующим образом:

1) π -мезоны образуются, главным образом, в р-состоянии.

2) функция возбуждения имеет резонансный характер с максимумом в области $\eta = 1,7$.

3) В процессе образования мезонов в области $0,5 \leq \eta \leq 2,5$ определяющую роль играет резонансное взаимодействие π -мезонов с нуклонами в состоянии с изотопическим спином $3/2$ и полным моментом $3/2$.

4) Основной вклад в образование мезонов дает 1D_2 -состояние протонов.

5) функция возбуждения реакции согласуется с резонансной моделью образования мезонов.

6) Для дальнейшего анализа реакции необходимо исследование всех возможных поляризованных эффектов, а также изучение других процессов образования мезонов нуклонами.

Л и т е р а т у р а

1. М.Г.Мещеряков, Б.С.Неганов, Н.П.Богачев, В.М.Сидоров. ДАН,100, № 4, (1955).
2. М.Г.Мещеряков, Б.С.Неганов, ДАН, 100, № 4 (1955)
3. Б.С.Неганов, О.В.Савченко, ЖЭТФ, 32, 1265, (1957)
4. Б.С.Неганов, Л.Б.Парфенов, ЖЭТФ, 34, 767 (1958)
5. H.L. Stadler. Phys.Rev., 96, 496, (1954).
6. T.H. Fields et al. Phys. Rev. 95, 638, (1954).
7. R. Durbin, H. Loar, J. Steinberger. Phys. Rev. 84, 581,(1951).
8. C.E. Cohn. Phys.Rev. 105, 1582, (1957).
9. D. Clark, A. Roberts, R. Wilson. Phys.Rev. 83, 649 (1951).
10. A. P. Batson, B.B. Culwich, L. Riddford. Rochester Conference Report, 1957.
11. S. Mandelstam. Proc. Royal Soc. 244, 491, (1958).

* * *