

С. 346

Т- 99

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

На правах рукописи

А. А. Тяпкин

P-248

**ОБРАЗОВАНИЕ НЕЙТРАЛЬНЫХ П-МЕЗОНОВ
ПРОТОНАМИ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ
ОТ 400 ДО 660 МЭВ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук

г. Дубна, 1958 год

С346
Т-99

На правах рукописи

А. А. Тяпкин

P-248

**ОБРАЗОВАНИЕ НЕЙТРАЛЬНЫХ П-МЕЗОНОВ
ПРОТОНАМИ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ
ОТ 400 ДО 660 МЭВ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Процессы образования Π -мезонов при столкновении нуклонов представляют важную область исследований в физике частиц высоких энергий. Изучению этих процессов, так же как и изучению более простых в теоретическом отношении процессов фоторождения и взаимодействия Π -мезонов с нуклонами, принадлежит большая роль в исследовании мезонной природы ядерных сил. Однако в связи с неудовлетворительным состоянием мезонной теории результаты экспериментальных исследований ядерных процессов в области высоких энергий используются пока лишь для построения феноменологического описания общей картины ядерного взаимодействия частиц.

В проблеме образования Π -мезонов при столкновении нуклонов к началу описываемых в диссертации исследований относительно мало изученными оставались процессы образования нейтральных Π -мезонов. Так, в частности, оставались не изучены энергетические распределения Π^0 -мезонов, угловое распределение Π^0 -мезонов было измерено лишь для реакции $p+r = \Pi^0 + d$ при энергии нейтронов 400 Мэв, сведения о функциях возбуждения для соответствующих реакций можно было получить лишь исходя из сопоставления абсолютных величин дифференциальных сечений образования τ -квантов, измеренных на различных ускорителях при энергиях протонов 340, 430 и 470 Мэв. Такое положение с количественными исследованиями процессов образования нейтральных Π -мезонов в значительной мере объясняется методическими трудностями, связанными с тем, что Π^0 -мезоны распадаются на τ -кванты.

В течение последних лет в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований была разработана аппаратура, необходимая для исследования жесткого τ -излучения, и были проведены детальные исследования различных реакций образования Π^0 -мезонов. Настоящая диссертация посвящена описанию исследований процессов образования Π^0 -мезонов протонами с энергиями в области от 400 до 660 Мэв на нуклонах и сложных ядрах, проведенных автором совместно с Ю.Д.Бажковым, М.С.Козодаевым, Д.Д.Прокошкиным, А.Н.Синаевым на синхротроне ОИЯИ.

Диссертация состоит из четырех глав. В первой главе описывается расчет соотношений, связывающих спектры и угловые распределения τ -квантов с энергетическими и угловыми распределениями Π^0 -мезонов, и приводится анализ полученных соотношений. Во второй главе описывается разработанная аппаратура и рассматриваются вопросы, связанные с методикой измерений. Третья глава посвящена описанию исследований процессов

образования P^0 -мезонов в (p-p)-и (p-p)-соударениях. В четвертой главе описываются исследования образования P^0 -мезонов на сложных ядрах и рассматриваются вопросы, связанные с поглощением P -мезонов и торможением бомбардирующих нуклонов в ядрах.

I.

Отсутствие заряда и чрезвычайно быстрый распад на два τ -кванта делают невозможным непосредственное детектирование нейтрального мезона. Это затрудняет экспериментальное исследование количественных характеристик процессов образования P^0 -мезонов, которое производится на основе изучения вторичного τ -излучения. В диссертации был проведен расчет соотношений, связывающих в общем виде энергетические спектры и угловые распределения τ -квантов с угловыми и энергетическими распределениями P^0 -мезонов. Полученные соотношения имеют важное значение как для анализа результатов измерений, так и для выбора оптимальных условий измерений.

Были рассмотрены методы установления принадлежности исследуемого τ -излучения к распаду нейтральных P -мезонов. В связи с этим анализировались различные способы определения массы нейтрального P -мезона.

Был рассмотрен также вопрос об определении полного сечения образования P^0 -мезонов по дифференциальному сечению образования τ -квантов, измеренному под произвольным углом. Из анализа полученного соотношения был сделан практически важный вывод⁽²⁾ о наличии так называемых "изотропических" углов, измерение потока τ -квантов под которыми позволяет определить величину полного сечения образования P^0 -мезонов, не зная соотношения между константами a и b в угловом распределении P^0 -мезонов $a + b \cos^2 \theta$.

При анализе спектров τ -квантов, измеренных под углом 0 и 180° к направлению бомбардирующей мишень протонов, широко использовалось решение обратной задачи - об определении энергетического распределения P^0 -мезонов по спектру τ -квантов.

II.

Важной частью описываемых экспериментальных работ является создание аппаратуры и разработка методов измерений τ -излучения от распада нейтральных P -мезонов. При выполнении этой части работ, помимо трудностей в создании сложной аппаратуры для детектирования τ -кван-

тов и измерения их энергий, встречаются трудности физического характера, связанные с определением таких параметров, как спектральная чувствительность и абсолютная эффективность τ -детектора. Поэтому в диссертации большое внимание уделено описанию применявшихся методов измерения и сопоставлению их с другими методами, описанными в литературе.

Во второй главе приводятся общие схемы опытов по измерению полных потоков τ -квантов и исследованию их энергетических спектров; перечисляются преимущества проведения опытов по исследованию τ -излучения от распада P^0 -мезонов на внутреннем пучке протонов синхротрона, дается описание применявшегося двенадцатиканального τ -спектрометра.

Большое внимание уделено описанию τ -телескопа, применявшегося для измерения полных потоков τ -квантов. Разработанный телескоп, состоящий из сцинтилляционного счетчика и счетчика излучения Черенкова, обладает сравнительно низким порогом регистрации τ -квантов (около 15 Мэв) и вместе с тем мало чувствителен к медленным частицам. Важной особенностью τ -детектора является также возможность измерения абсолютной эффективности регистрации фотоэлектронными умножителями вспышек излучения Черенкова. Измерение эффективности умножителей, так же как и определение эффективности отдельных рядов счетчиков в спектрометре, производилось методом последовательного отключения отдельных элементов регистрирующего устройства. Полная эффективность телескопа определялась экспериментально путем измерения эффективного коэффициента поглощения исследуемых τ -квантов и экспериментального определения поправки на рассеяние электронов и позитронов в конверторе и счетчике телескопа.

Были рассмотрены также различные методы определения спектральной эффективности τ -телескопа и приводится метод вычисления ее на основе найденного приближенного решения задачи о флуктуациях числа каскадных частиц, вышедших из радиатора.

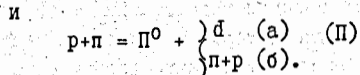
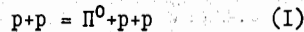
Для измерения потока протонов, прошедших через мишень синхротрона, применялся калориметрический метод. Ценной особенностью этого метода при проведении опытов на внутреннем пучке синхротрона является возможность точного определения эффективного потока протонов независимо от условий облучения мишени.

Для измерения на внутреннем пучке протонов сечения образования τ -квантов на водороде по отношению к сечению на углероде применялся разностный метод измерения ($\text{CH}_2\text{-C}$), усовершенствованный за счет периодической смены мишеней (через минуту) в вакуумной камере ускорителя и синхронного переключения системы регистрации.

В конце главы рассматривается вопрос об отличии сечения $\sigma_{\text{pp}}^{\text{P}^0}$ от разности сечений, измеренных для дейтерия и водорода. Показано, что из имеющихся экспериментальных данных можно сделать вывод о незначительном (около 5 %) занижении искомого сечения за счет влияния связи в ядре дейтерия.

III.

С помощью τ -телескопа и двенадцатиканального τ -спектрометра было проведено (I, 6, 7) исследование образования нейтральных P^0 -мезонов в реакциях



На основании измерений полных выходов τ -квантов под "изотропическим" углом $\theta^{\text{L}} \approx 55^\circ$ при различных энергиях протонов (от 390 до 660 Мэв) были найдены полные сечения реакций (I), (II) и, следовательно, были определены функции возбуждения реакций в исследуемой области энергий. Полученные данные об энергетической зависимости полных сечений реакций приведены в таблице I. В этой таблице приведены также величины относительных дифференциальных сечений. Указанные погрешности являются стандартными ошибками проведенных измерений. Следует отметить, что полученные полные сечения реакции (I) в области энергий протонов 400-500 Мэв значительно меньше сечений, найденных ранее в работах (II-14), и хорошо согласуются с опубликованными недавно результатами исследования зависимости полного сечения от энергии в области от 346 до 437 Мэв (15).

Из сравнения полных выходов τ -квантов, измеренных с помощью τ -телескопа под углами 33° и 147° , были определены угловые распределения P^0 -мезонов, образующихся в реакции (I) при различных энергиях в области от 450 до 660 Мэв. Угловое распределение мезонов, испускаемых в реакции (II), было определено при энергии протонов 660 Мэв.

Таблица I.

E_p	$\frac{d\sigma_H^d}{d\Omega} / \frac{d\sigma_C^d}{d\Omega}$	$\sigma_{\text{pp}}^{\text{P}^0}$	$\frac{d\sigma_H^d}{d\Omega} / \frac{d\sigma_C^d}{d\Omega}$	$\sigma_{\text{d p}}^{\text{P}^0}$	$\sigma_{\text{pp}}^{\text{P}^0} \approx \sigma_{\text{p}(d-p)}^{\text{P}^0}$
Мэв	%	10^{-27}см^2	%	10^{-27}см^2	10^{-27}см^2
660	16,2 \pm 0,6	3,6 \pm 0,3	48 \pm 5	10,6 \pm 1,4	7,0 \pm 1,1
635	15,5 \pm 1,0	2,9 \pm 0,3	45 \pm 5	8,5 \pm 1,2	5,6 \pm 0,9
610	16 \pm 2	2,65 \pm 0,30	43 \pm 5	7,0 \pm 1,0	4,3 \pm 0,9
580	11,5 \pm 1,5	1,57 \pm 0,22	41 \pm 5	5,4 \pm 1,0	3,8 \pm 0,7
555	9,5 \pm 1,5	1,1 \pm 0,2	35 \pm 6	4,0 \pm 0,7	2,9 \pm 0,7
530	8 \pm 2	0,7 \pm 0,2	35 \pm 6	3,1 \pm 0,6	2,4 \pm 0,6
500	7,5 \pm 1,5	0,53 \pm 0,12	33 \pm 6	2,3 \pm 0,5	1,8 \pm 0,5
470	5 \pm 1	0,28 \pm 0,07	32 \pm 6	1,8 \pm 0,4	1,5 \pm 0,3
445	4,5 \pm 1,0	0,22 \pm 0,07	30 \pm 6	1,4 \pm 0,4	1,2 \pm 0,3
415	3 \pm 1	0,11 \pm 0,04	29 \pm 6	1,1 \pm 0,3	1,0 \pm 0,2
385	-	-	26 \pm 6	0,77 \pm 0,20	0,7 \pm 0,2

Благодаря проведенному усовершенствованию разностного метода измерений впервые удалось определить спектр τ -квантов от распада P^0 -мезонов, образующихся в (p-p)-соударениях. Измерения были проведены при энергии протонов 660 Мэв под углом 0° . Из анализа полученного спектра τ -квантов было найдено энергетическое и угловое распределение P^0 -мезонов.

В результате изучения реакций (I) и (II) были установлены следующие ранее неизвестные факты:

а) В исследуемой области энергий полное сечение реакции (I) растет пропорционально $R_{\text{макс}}^{5,7 \pm 0,5}$, а не по закону $R_{\text{макс}}^8$, как это предполагалось ранее ($R_{\text{макс}}$ - максимально возможный импульс мезона, выраженный в единицах $m_{\text{п}} c$);

б) В области энергий до 600 Мэв отношение полных сечений реакций (I) и (II) быстро растет, достигает величины около 1/2, а при энергиях больших 600 Мэв остается постоянной в пределах ошибок измерений;

в) При энергии протонов 660 Мэв угловое распределение P^0 -мезонов, образующихся в реакциях (I) и (II), близко к изотропному, при энергиях же меньших 600 Мэв наблюдается увеличение анизотропии углового распределения P^0 -мезонов;

г) Энергетический спектр P^0 -мезонов, образующихся в реакции (I) при энергии протонов 660 Мэв, указывает, что P^0 -мезоны испускаются в основном с энергиями, значительно меньшими максимально возможной, и, следовательно, нуклоны в конечном состоянии приобретают большой относительный импульс.

Все эти установленные факты находят объяснение в феноменологической теории, учитывающей возникновение сильной связи между мезоном и одним из нуклонов в состоянии, изотопический спин и угловой момент которого равны $3/2$. Так, в частности, полученные экспериментальные данные о кривой возбуждения для реакции (I), угловом и энергетическом распределении P^0 -мезонов, образующихся в (p-p)-соударениях, согласно сопоставлению, проведенному Мандельштамом⁽¹⁶⁾, хорошо согласуются с результатами феноменологических расчетов, учитывающих резонансное состояние подсистемы мезон-нуклон.

IV.

Образование P^0 -мезонов протонами на сложных ядрах изучалось в различных по своему характеру и целям исследованиях^(1,5,8). Так, описанное в начале главы исследование⁽⁵⁾ спектров τ -квантов, образованных протонами с энергиями 470 и 660 Мэв на ядрах легких элементов (углероде и бериллии), проводилось с целью получения сведений об энергетическом и угловом распределении P^0 -мезонов, образующихся в нуклонных соударениях. При анализе спектров учитывалось только наличие внутриядерного движения нуклонов мишени и пренебрегалось эффектами, связанными с поглощением мезонов и торможением протонов в ядрах. На основании проведенного анализа спектров τ -квантов было установлено, что при энергии протонов 470 Мэв P^0 -мезоны испускаются с энергиями, близкими к максимально возможной, и в их угловом распределении существенен член, пропорциональный $\cos^2\theta$, и что при энергии протонов 660 Мэв P^0 -мезоны образуются в основном с энергиями, значительно меньшими максимально возможной, и их угловое распределение приблизительно изотропно. Причиной такого рода изменений при возрастании энергии сталкивающихся нуклонов может быть появление в конечном состоянии сильного взаимодействия мезона с одним из нуклонов.

Другого типа исследования представляют собой работы^(1,8), в которых под различными углами наблюдения изучалась зависимость выхода

τ -квантов от массового числа бомбардируемых ядер. Эти измерения проводились с целью получения сведений о взаимодействии P^0 -мезонов с нуклонами ядер. В связи с малым временем жизни P^0 -мезонов подобные исследования являются единственным источником сведений о взаимодействии их с нуклонами.

Полученные экспериментальные данные сопоставляются в диссертации с результатами расчетов⁽¹⁰⁾, проведенных на основе оптической модели ядра. Эти расчеты объясняют наблюдающееся на опыте различие углового распределения P^0 -мезонов, образующихся на легких и тяжелых ядрах, и позволяют оценить величину свободного пробега P^0 -мезонов в ядерном веществе. Однако точного совпадения расчетных данных с экспериментальными не наблюдается даже и для тяжелых ядер. На основании этого расхождения делается вывод о необходимости в подобных мезонных расчетах учитывать диффузный край ядер.

В диссертации рассматривается вопрос о соотношении вероятностей образования P^0 -мезонов на относительно слабо связанных поверхностных нуклонах и сильно связанных внутренних нуклонах ядра. На основании проведенных расчетов и имеющихся экспериментальных данных делается вывод, что вероятность образования P^0 -мезонов на поверхностных нуклонах превышает вероятность образования на внутренних нуклонах не более, чем в два раза.

В конце главы рассматривается вопрос об изменении энергетических распределений P^0 -мезонов, связанном с различным поглощением быстрых и медленных мезонов.

Несмотря на большой объем уже выполненных исследований процессов образования P^0 -мезонов, даже в области энергий до 660 Мэв остается еще много вопросов, требующих дальнейшего изучения и уточнения. В заключении перечисляются эти вопросы и указываются возможные усовершенствования регистрирующей аппаратуры и методов измерения, необходимые для решения более сложных задач.

Основные результаты описанных в диссертации исследований были опубликованы в работах⁽¹⁻¹⁰⁾.

Л И Т Е Р А Т У Р А.

1. А.А.Тяпкин, М.С.Козодаев, Д.Д.Прокошкин, ДАН СССР, 100, 689(1955).
2. А.А.Тяпкин, ЖЭТФ, 30, 1150(1956).
3. Yu.D.Vayukov, M.S.Kozodayev, A.A.Tyarkin, Symposium CERN, 2, 398 (1956).
4. Д.Д.Бажков, А.Н.Синаев, А.А.Тяпкин, ЖЭТФ, 32, 385(1957).
5. Д.Д.Бажков, М.С.Козодаев, А.А.Тяпкин, ЖЭТФ, 32, 667(1957).
6. Д.Д.Прокошкин, А.А.Тяпкин, ЖЭТФ, 32, 750(1957).
7. Д.Д.Бажков, А.А.Тяпкин, ЖЭТФ, 32, 953(1957).
8. Д.Д.Прокошкин, А.А.Тяпкин, ЖЭТФ, 33, 313 (1957).
9. Yu.D.Vayukov, M.S.Kozodayev, Yu.D.Prokoshkin, A.A.Tyarkin, Nuclear Physics, 4, 61(1957).
10. А.А.Тяпкин, Тезисы докладов на Всесоюзной конференции по физике частиц высоких энергий, стр. 35, Из-во АН СССР (1956).
11. J.Marshall, J.Marshall, V.A.Nedzel, S.D.Warchaw, Phys.Rev. 88, 632(1952).
12. Б.М.Понтекорво, Г.И.Селиванов, В.А.Жуков, Отчет ИЯП АН СССР (1952).
13. Л.М.Сороко, Отчет ИЯП АН СССР за 1952г.
14. М.С.Козодаев, А.А.Тяпкин, Р.А.Ванецян, Отчет ИЯП АН СССР за 1952г.;
М.С.Козодаев, А.А.Тяпкин, Д.Д.Бажков, А.А.Марков, Д.Д.Прокошкин, Известия АН СССР, сер.физ., 19, 589 (1955).
15. R.A.Stallwood, R.B.Sutton, T.H.Fields, J.G.Fox, J.A.Kane, Phys.Rev. 109, 1716(1958).
16. S.Mandelstam, Proc.Roy.Soc. 224, 491(1958).