

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

СЗУ6

Ф-73

В.Б. Флягин

P-329

ОБРАЗОВАНИЕ  $\pi^0$ -МЕЗОНОВ  
ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ НЕЙТРОНОВ  
С ПРОТОНАМИ И ДЕЙТРОНАМИ  
И ГИПОТЕЗА ЗАРЯДОВОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ

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

Научный руководитель  
доктор физико-математических наук

В.П. Джелепов

Дубна, 1969 год

С346  
Ф-73

В.Б. Флягин

P-329

ОБРАЗОВАНИЕ  $\pi^0$ -МЕЗОНОВ  
ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ НЕЙТРОНОВ  
С ПРОТОНАМИ И ДЕЙТРОНАМИ  
И ГИПОТЕЗА ЗАРЯДОВОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ

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

Научный руководитель  
доктор физико-математических наук

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

В.П. Джелепов

## В в е д е н и е

Любое современное теоретическое описание сильных взаимодействий в качестве одного из своих основных элементов содержит гипотезу зарядовой независимости ядерных сил /ГЗН/.

Из формального аппарата квантовой механики ГЗН постепенно превратилась в действующий рабочий инструмент, с помощью которого можно предсказать нетривиальные соотношения между сечениями различных ядерных реакций.

Элементарный анализ показывает, что все имеющиеся в настоящее время опытные факты не противоречат этой гипотезе.

Проверка следствий ГЗН для  $\bar{K}$ -мезон-нуклонных взаимодействий возможна на основе изучения, с одной стороны, процессов рассеяния  $\bar{K}$ -мезонов нуклонами и, с другой - рождения  $\bar{K}$ -мезонов при нуклон-нуклонных столкновениях.

К началу наших экспериментов /1954 г./ наиболее достоверное подтверждение справедливости гипотезы для указанных процессов было сделано на основе опытов Хяльдебранда <sup>1/</sup> и Шлютера <sup>2/</sup>, которые исследовали реакцию  $n + p \rightarrow \bar{K}^0 + d$  при энергии нейтронов 400 Мэв. Эти опыты позволили произвести сопоставление дифференциальных сечений исследованной реакции с сечениями реакции  $p + p \rightarrow \bar{K}^+ + d$  и проверить соотношение

$$d\sigma(np, \bar{K}^0 d) = \frac{1}{2} d\sigma(pp, \bar{K}^+ d) \quad /1/$$

являющееся следствием сохранения полного изотопического спина. Эта проверка показала, что равенство /1/ в пределах ошибок опытов удовлетворяется.

Отсутствие каких-либо других опытных фактов, могущих более или менее надежно подтвердить справедливость ГЗН для мезон-нуклонных взаимодействий, делало необходимым дальнейшие исследования по экспериментальной проверке ГЗН.

Поскольку точное количественное изучение процессов образования  $\bar{K}$  -

мезонов представлялось наиболее перспективным путем для проверки закона сохранения изотопического спина, и, поскольку возможность такой проверки лимитировалась прежде всего отсутствием необходимых данных о сечениях образования  $\bar{K}^0$ -мезонов нейтронами, мы поставили себе задачу изучить образование  $\bar{K}^0$ -мезонов при столкновениях нейтронов с протонами и дейтронами, т.е. исследовать реакции



Опыты были выполнены на синхротроне Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований с пучком нейтронов, среднеэффективная энергия которых составляла около 800 Мэв.

Предлагаемая диссертация написана на основе этих опытов и является итогом исследований, проведенных автором совместно с В.П. Желеповым, В.С. Киселевым и К.О. Оганесяном в период с 1954 по 1958 г. Результаты этих исследований были опубликованы в ЖЭТФ /3-8/, а также доложены на международных конференциях по физике высоких энергий в Москве /1956г./ и Женеве /1956 и 1958 г.г./.

Диссертация состоит из пяти глав.

В первой главе содержится обзор экспериментальных данных, относящихся к рассматриваемой проблеме. В этот обзор включены результаты работ, появившихся в печати как во время проведения наших экспериментов, так, отчасти, и после их завершения.

Вторая глава посвящена описанию особенностей экспериментов, проводимых с пучками высокоэнергетичных нейтронов. Здесь кратко рассмотрены измерения энергетического спектра нейтронов /6/.

Главы III и IV содержат описание экспериментальных исследований процессов образования  $\bar{K}^0$ -мезонов в реакциях /2/, /3/ и /4/.

В главе V проводится обсуждение полученных результатов.

### Измерение полных сечений реакций $n+p \rightarrow \bar{K}^0 + \text{нук.}$ и $n+d \rightarrow \bar{K}^0 + \text{нук.}$

Определение полных сечений указанных реакций было сделано на основе измерения выхода  $\gamma$ -квантов от распада  $\bar{K}^0$ -мезонов под углом  $90^\circ$  к пучку нейтронов. Как показывают феноменологический анализ этих процессов и кинематические расчеты, величина полного сечения, получаемого таким способом, очень слабо зависит от предположения о виде углового распределения  $\bar{K}^0$ -мезонов в системе центра масс сталкивающихся нуклонов.

Для исследования реакции /2/ в пучок нейтронов помещались поочередно мишени из полиэтилена / $\text{C}_2\text{H}_4$ / и графита /C/. Эффект от водорода определялся по разности эффектов  $\text{C}_2\text{H}_4 - \text{C}$ . Реакция /4/ изучалась путем измерения разности  $\text{D}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}$ .

Во всех относительных измерениях детектором  $\gamma$ -квантов служил телескоп из двух сцинтилляционных и одного черенковского счетчиков, содержащий свинцовый конвертор. Черенковское свечение электронов конверсии в третьем счетчике, представлявшем собой блок из плексигласа, регистрировалось одновременно двумя фотоумножителями. Счетчик, расположенный перед конвертором, включался на антисовпадения с остальными и служил для предотвращения возможности регистрации быстрых заряженных частиц.

Абсолютная величина выхода  $\gamma$ -квантов определялась в отдельном опыте, в котором одновременно с измерением потока  $\gamma$ -квантов определялся поток протонов отдачи-продуктов упругого / $n, p$ /-рассеяния, сечение которого было известно. При этом в телескопе, регистрировавшем  $\gamma$ -кванты, черенковский счетчик заменялся сцинтилляционным, что исключало необходимость в дополнительных опытах по определению эффективности черенковского счетчика. Для того, чтобы упростить расчеты эффективности  $\gamma$ -телескопа, толщина свинцового конвертора в этих опытах была взята равной всего 1 мм. Телескоп, регистрировавший протоны отдачи, устанавливался под углом  $30^\circ$  по отношению к оси нейтронного пучка и работал от мишени общей с  $\gamma$ -детектором.

В результате проведенных измерений были получены следующие величины

полных сечений образования  $\bar{K}^0$ -мезонов нейтронами при эффективной энергии 580 Мэв:

$$\sigma(n, \bar{K}^0 \text{ нук.}) = /5,7 \pm 1,5/ \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$$

$$\sigma(nd, \bar{K}^0 \text{ нук.}) = /7,4 \pm 2,0/ \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$$

$$\sigma(nd, \bar{K}^0 \text{ нук.}) - \sigma(n, \bar{K}^0 \text{ нук.}) = /1,7 \pm 0,5/ \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$$

Разность  $\sigma(nd, \bar{K}^0) - \sigma(n, \bar{K}^0)$  лишь весьма приближенно характеризует величину сечения образования  $\bar{K}^0$ -мезонов при столкновении нейтронов со свободными нейтронами  $\sigma / nn, \bar{K}^0 nn /$ , так как при этом не учитывается влияние связи нуклонов в дейтроне. Оценка величины сечения  $\sigma(nn, \bar{K}^0)$  с учетом поправки на эффекты связи, произведенная на основе опытных данных об относительных выходах  $\gamma$ -квантов  $\frac{d\sigma_{nd}^{\gamma}}{d\sigma_{np}^{\gamma}}$  и  $\frac{d\sigma_{nd}^{\bar{K}^0}}{d\sigma_{np}^{\bar{K}^0}}$ , полученных нами и Дунайцевым и Прокошкиным /7/, привела к значению

$$\sigma(nn, \bar{K}^0) = (2,5 \pm 0,8) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$$

Исследование реакции  $n + p \rightarrow \bar{K}^0 + d$

В условиях относительно небольшой интенсивности пучка нейтронов синхротрона  $/3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}/$  к методике изучения указанной реакции предъявляется требование возможно более высокой эффективности. С этой целью нами была применена система, в которой на совпадение с дейтроном регистрировался только один  $\gamma$ -квант от распада  $\bar{K}^0$ -мезона.

Схема опыта изображена на рис.1. Пучок нейтронов, пройдя коллиматор, выполненный в виде векртикальной щели, падал на полиэтиленовую или графитовую мишень. Эффект, обусловленный водороду, определялся по разности скоростей счета с этими мишенями:

Детектором  $\gamma$ -квантов служил сцинтилляционный телескоп, аналогичный телескопу, применявшемуся в описанных выше опытах. Телескоп устанавливался на угле, соответствующем направлению движения  $\bar{K}^0$ -мезонов и регистрировал наиболее энергичные  $\gamma$ -кванты от его распада. Для того, чтобы исключить влияние магнитного поля на фотоумножители, последние были заключены в же-

лезные экраны.

Отбор дейтронов по импульсам осуществлялся при помощи многоканального магнитного спектрометра, который позволял выделить из спектра первичных нейтронов нужный энергетический интервал -рис.2/. Использование для анализа дейтронов магнитной системы позволяло, кроме того, легко решить задачу отделения примеси частиц от реакции



Спектрометр был осуществлен на основе электромагнита с максимальным полем 18 000 Ое, полюсными наконечниками размером 340x850 мм и зазором 80 мм. Детектором дейтронов служили тонкостенные счетчики /счетчики "а" и "в" имели  $\phi = 10 \text{ мм}$   $l = 100 \text{ мм}/$ , наполненные парами метилала /  $\text{CH}_2 \text{OCH}_3$  / и работавшие в режиме "ограниченной пропорциональности".

Изменение угла, на котором регистрировались дейтроны, производилось путем перемещения групп счетчиков "а" и "в" вдоль краев полюсных наконечников. Весь интервал углов дейтронов /максимальный угол выхода дейтронов  $14^\circ$ / охватывался при двух положениях магнита относительно пучка нейтронов.

Юстировка положения счетчиков на траектории движения дейтронов производилась с помощью токонесущей нити, помещавшейся в магнитное поле. Взаимным расположением счетчиков "а" и "в" задавался только нижний энергетический порог, отвечавший энергии нейтронов  $\sim 550 \text{ Мэв}$ . Максимальная энергия регистрируемых дейтронов определялась верхней границей спектра нейтронов.

Чтобы убедиться в том, что регистрируемые установкой события обязаны образованию  $\bar{K}^0$ -мезонов в реакции /3/, был выполнен ряд контрольных опытов.

1. Для двух углов были измерены кривые поглощения частиц, анализируемых спектрометром. Полученные кривые убедительно показали, что регистрируемые на совпадение с  $\gamma$ -квантами частицы являются дейтронами.

2. Использование магнитного поля для большинства углов позволило совершенно избавиться от примеси частиц, образующихся в реакции /5/. В

области углов, где по кинематическим соображениям указанная примесь могла иметь место, установка фильтров, поглощавших все дейтроны, позволила определить тот незначительный вклад, который давала реакция /5/ в регистрируемые аппаратурой события.

3. Была изучена корреляция углов выхода  $\chi$ -квантов и дейтронов. Наблюдаемое распределение  $\chi$ -квантов хорошо совпало с рассчитанным для реакции /3/.

Для определения зависимости эффективности телескопа от энергии регистрируемых  $\chi$ -квантов, были поставлены вспомогательные эксперименты, в которых изучалось прохождение высокоэнергичных электронов /50  $\leq E \leq 350$  Мэв/ через свинцовый конвертор и сцинтилляторы телескопа. Результаты этих опытов существенно облегчили задачу расчета эффективности.

Определение полного сечения было выполнено на основе измерения абсолютного выхода реакции /3/ для одного из углов. Способ измерения был аналогичен способу, применявшемуся при определении абсолютного выхода  $\chi$ -квантов в реакциях /2/ и /4/.

Полученные результаты изображены на рис.3 и представлены в таблице I вместе с известными данными о реакции  $p+p \rightarrow \bar{K}^+ + d$  для интересующих нас энергий.

Таблица I

Энергия падающ. нуклона	Реакция	Угловое распределение	Полн.сеч. $10^{-27} \text{ см}^2$	Литература
580	$p+p \rightarrow \bar{K}^+ + d$	$/0,216 \pm 0,033 / + \cos^2 \theta$	$3,10 \pm 0,24$	Солн /8/
600	$n+p \rightarrow \bar{K}^0 + d$	$/0,220 \pm 0,022 / + \cos^2 \theta$	$1,5 \pm 0,3$	наст. работа
610	$p+p \rightarrow \bar{K}^+ + d$	—	$3,15 \pm 0,22$	Мещеряков, Неганов /9/
833	$p+p \rightarrow \bar{K}^+ + d$	$/0,31 \pm 0,03 / + \cos^2 \theta$	$3,05 \pm 0,23$	Неганов, Парфенов /10/
860	$p+p \rightarrow \bar{K}^+ + d$	$/0,23 \pm 0,03 / + \cos^2 \theta$	$3,1 \pm 0,2$	/8/

### Выводы

Основные результаты данной работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Сравнение углового распределения и полного сечения реакции  $n+p \rightarrow \bar{K}^0 + d$  измеренных в настоящей работе, с угловым распределением и полным сечением реакции  $p+p \rightarrow \bar{K}^+ + d$ , подтверждают справедливость гипотезы зарядовой независимости мезон-нуклонного взаимодействия /данные удовлетворяют равенству  $d\sigma(np, \bar{K}^0 d) = 1/2 d\sigma(pp, \bar{K}^+ d)$  /.
2. Полученная в работе величина полного сечения реакции  $n+p \rightarrow \bar{K}^0 + \text{нук.}$  в совокупности с другими данными также свидетельствует в пользу зарядовой независимости /данные удовлетворяют соотношению  $1/2 \sigma(pp, \bar{K}^0) = \sigma(np, \bar{K}^0) + \sigma(pp, \bar{K}^+) - \sigma(np, \bar{K}^+)$  /.
3. Результаты сопоставления измеренного в работе сечения реакции  $n + d \rightarrow \bar{K}^0 + \text{нук.}$  с сечением реакции  $p + d \rightarrow \bar{K}^0 + \text{нук.}$ , независимо от предыдущих выводов, подтверждают справедливость зарядовой симметрии.
4. Измерения полных сечений реакций  $n+p \rightarrow \bar{K}^0 + \text{нук.}$  и  $n + d \rightarrow \bar{K}^0 + \text{нук.}$  для одной и той же энергии позволили определить сечение рождения  $\bar{K}^0$ -мезонов при столкновении нейтронов с нейтронами. Полученные результаты свидетельствуют о быстром росте сечения реакции  $n+n \rightarrow \bar{K}^0 + n + n$  с энергий подобно тому, как это имеет место для реакции  $p+p \rightarrow \bar{K}^+ + p + p$ .
5. Независимо от справедливости гипотезы зарядовой независимости, характер углового распределения и быстрый рост сечения реакции  $n+p \rightarrow \bar{K}^0 + d$  с энергией говорит о том, что  $\bar{K}^0$ -мезоны в этой реакции рождаются, главным образом в P-состоянии.



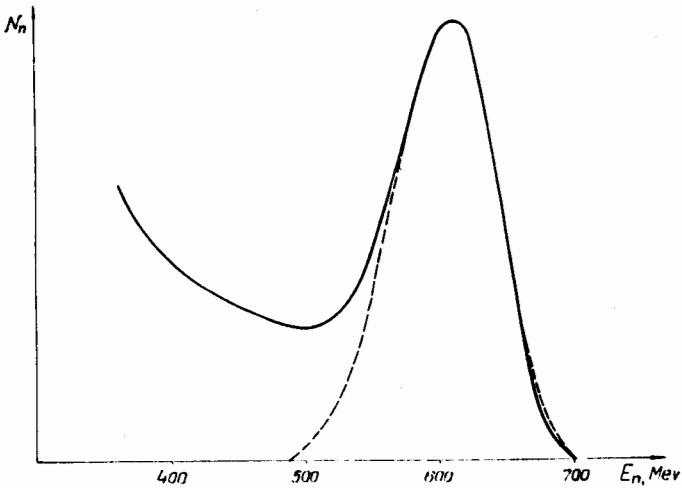


Рис. 2. Спектр нейтронов /сплошная линия/ и эффективный спектр /пунктирная линия/.

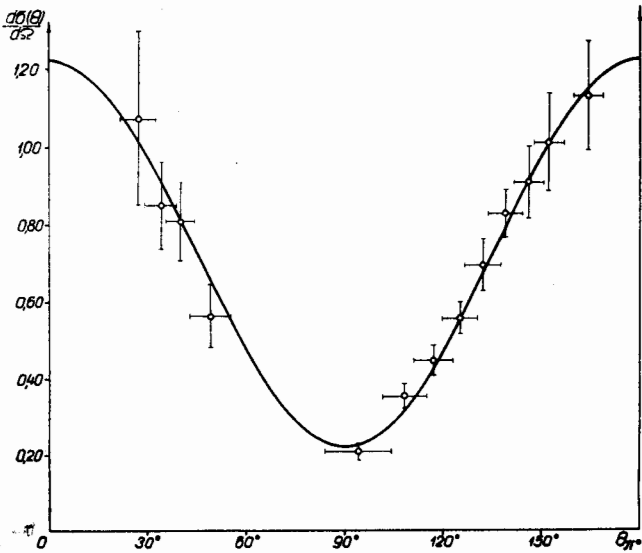


Рис. 3. Угловое распределение  $\Lambda^0$ -мезонов от реакции  $n + p \rightarrow \Lambda^0 + d$ . Сплошная кривая получена методом наименьших квадратов и отвечает функции  $f(\theta) = 0,220 \pm 0,022 / + \cos^2 \theta$

0-24788