

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

840/2-80

21/4-80

P1-80-15

Ю.А.Бирюков, М.Г.Горнов, А.Г.Друцкой,
С.В.Лапушкин, К.О.Оганесян, А.П.Пичугин,
А.К.Поносов, Ф.М.Сергеев

РЕАКЦИИ ДВОЙНОЙ ПЕРЕЗАРЯДКИ
ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПИОНОВ НА ЯДРАХ
С ИЗМЕНЕНИЕМ СТРАННОСТИ

Направлено в ЯФ

1980

Бирюков Ю.А. и др.

P1-80-15

Реакции двойной перезарядки отрицательных пионов на ядрах с изменением странности

Исследованы реакции двойной перезарядки отрицательных пионов на ядрах с изменением странности ($\pi^- \rightarrow K^+$, $\pi^- \rightarrow K^{*+}$ (890)). Измерены сечения этих реакций, обсуждаются их возможные механизмы. Эксперимент проведен на 105-сантиметровой фреоновой пузырьковой камере МИФИ при импульсе первичных пионов 3,9 ГэВ/с.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и Московском инженерно-физическом институте.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Biryukov Yu.A. et al.

P1-80-15

Долгое время адрон-ядерные взаимодействия при энергиях выше порога образования пионов рассматривались в основном как источник сведений об элементарных соударениях адронов с квази-свободными нуклонами. При этом остальная, причем большая часть реакций подробно не изучалась. В настоящее время ситуация изменилась, - возрос интерес к процессам, которые не могут идти на свободном нуклоне. Сформировалось новое научное направление - релятивистская ядерная физика^{/1/}.

Одним из методов выделения реакций, которые не могут идти на свободном нуклоне, является отбор звезд с быстрым протоном, вылетающим в заднюю полусферу /кумулятивным протоном/. Этот метод оказался весьма плодотворным^{/2/}. В настоящее время эксперименты с образованием кумулятивных барионов проведены вплоть до энергии 400 ГэВ^{/3/}.

Хотя инклюзивные спектры кумулятивных частиц могут быть описаны в рамках одной модели /см., например,^{/4/} /, ясно, что для выявления механизма адрон-ядерных взаимодействий нельзя ограничиваться исследованием инклюзивных распределений, необходимо изучать корреляции между продуктами реакции, сочетать инклюзивный подход с эксклюзивным.

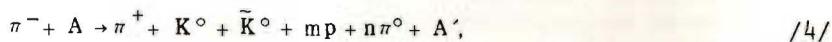
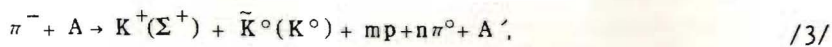
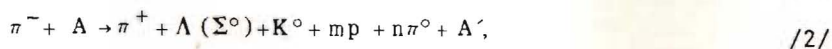
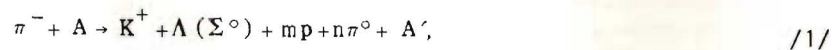
Процессами, которые в принципе не могут идти на одном нуклоне, являются реакции двойной перезарядки пионов на ядрах, открытые в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в начале 60-х гг.^{/5/} К двойной перезарядке π^- -мезонов на ядрах относят реакции, в которых отрицательно заряженный пион превращается в пион, заряженный положительно, причем в конечном состоянии отрицательно заряженных частиц нет. Механизм реакций двойной перезарядки до сих пор окончательно не установлен. Возможными механизмами являются: изобарный^{/6/}, последовательной перезарядки на двух нуклонах^{/7/}, обменных токов^{/8/}, двухступенчатый механизм с поглощением пиона.

Новые сведения о механизме реакций двойной перезарядки пионов можно получить, изучая двойную перезарядку отрицательного пиона в положительный каон, то есть реакцию с изменением странности мезона, а также переходы $\pi^- \rightarrow K^0 \pi^+$, которые могут осуществляться через промежуточное резонансное состояние K^{*+} . Такие реакции не рассматривались ранее ни в теоретических, ни в экспериментальных работах. Одно из их достоинств состоит в том, что нейтральным компонентом, несущим информацию о ядерной мишени, может оказаться Λ -гиперон, изучать который несравнен-

но проще, чем нейтрон "обычной" двойной перезарядки. Регистрация странных частиц позволяет также определять сечения отдельных каналов, используя закон сохранения странности в ядерных взаимодействиях.

Настоящий эксперимент выполнен на 105-сантиметровой фреоновой пузырьковой камере МИФИ, экспонированной на пучке π^- -мезонов с импульсом 3,9 ГэВ/с. Обтирались звезды с одной релятивистской положительно заряженной частицей или явным K^+ -мезоном /идентифицированным по $K^+ \rightarrow \mu^+ + e^+$ -распаду/ и одной или двумя

V^0 -вилками, но без отрицательно заряженных частиц. Регистровались также протоны ядерного сопровождения в интервале импульсов $0,2 \div 0,7$ ГэВ/с и γ -кванты по электрон-позитронным парам конверсии. Средняя эффективность регистрации γ -квантов составляет 56%. Отобранные события соответствовали следующим реакциям:



где $m, n = 0, 1, 2, \dots$, /в категорию " π^+ " включены релятивистские протоны/. Λ -гипероны и K^0 -мезоны идентифицировались стандартным образом^{9/}. Всего обработано 130 тыс. снимков, к реакциям /1/-/4/ отнесено 162 события.

В силу специфики камерного эксперимента мы в состоянии надежно идентифицировать лишь сравнительно медленные заряженные каоны, пробеги которых укладываются в эффективный объем камеры. Таким образом, экспериментально выделяется только часть реакций /1/, /3/. Однако имеется возможность определить парциальные сечения процессов /1/-/4/ и без идентификации K^+ -мезона, используя сохранение странности в ядерных взаимодействиях. Для этого необходимо регистрировать не только быструю положительную частицу, но и распады нейтральных странных частиц. По числу зарегистрированных Λ -гиперонов определяется суммарное сечение реакций /1/ и /2/ $\sigma_1 + \sigma_2$. Сечение σ_2 можно найти из числа зарегистрированных пар $K^0 \Lambda$. Выход K^0 -мезонов определяет величину $\sigma_2 + \sigma_3 + 2\sigma_4$. Сечение σ_4 определяется количеством пар $K^0 K^0_1$. Для нормировки использовались сечения рождения странных частиц на ядрах фреоновой смеси, измеренные нами ранее^{9,10/}. Численные значения всех величин приведены в табл. 1. В последнем ее столбце дано отношение соответствующего сече-

Таблица 1

Величина	Сечение, мбн	Выход ($\sigma/\sigma_{\text{неупр.}}$)
$\sigma_1 + \sigma_2$	$0,75 \pm 0,14$	$/2,0 \pm 0,4/ \cdot 10^{-3}$
$\sigma_2 + \sigma_3 + 2\sigma_4$	$1,40 \pm 0,26$	$/3,7 \pm 0,7/ \cdot 10^{-3}$
$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4$	$1,5 \pm 0,3$	$/4,0 \pm 0,8/ \cdot 10^{-3}$
σ_1	$0,41 \pm 0,17$	$/1,1 \pm 0,4/ \cdot 10^{-3}$
σ_2	$0,34 \pm 0,12$	$/0,9 \pm 0,3/ \cdot 10^{-3}$
σ_3	$0,44 \pm 0,41$	$/1,2 \pm 1,1/ \cdot 10^{-3}$
σ_4	$0,31 \pm 0,15$	$/0,8 \pm 0,4/ \cdot 10^{-3}$

ния к полному сечению неупругого взаимодействия π^- -мезонов с импульсом 3,9 ГэВ/с со средним ядром фреоновой смеси $/\bar{A} = 22,5$; $\sigma_{\text{неупр.}} = 374$ мбн/. Погрешности указаны статистические. Оценки показывают, что поправка в сечениях, связанная с возможной примесью медленных π^- -мезонов, ошибочно принятых за протоны, не превышает 5%. Следует еще раз заметить, что мы приводим сечения для среднего ядра. Однако сечения реакций двойной перезарядки сильно зависят от атомного номера ядра-мишени. Поэтому в нашем случае взаимодействия происходят преимущественно на самом тяжелом ядре, входящем в состав фреоновой смеси, на ядре хлора.

Существенную роль в исследуемых реакциях, по-видимому, играют промежуточные резонансные состояния. В спектре эффективных масс системы $K^0 \pi^+$ /рис. 1/ наблюдается сигнал, отвечающий резонансу $K^{*+}(890)$. Кривая Брайта-Вигнера, приведенная на рис. 1, соответствует табличным значениям этого резонанса. Если полагать, что наблюдаемый максимум в спектре эффективных масс действительно обусловлен резонансом $K^{*+}(890)$, то сечение перехода $\pi^- \rightarrow K^{*+}(890) \rightarrow K^0 + \pi^+$ составляет $/0,26 \pm 0,11/$ мбн, или $/0,7 \pm 0,3/ \cdot 10^{-3} \sigma_{\text{неупр.}}$. Из импульсного распределения, приведенного на рис. 1, видно, что двухмезонная система может уносить до 90% первоначального импульса.

Среднее число протонов в реакциях /1/-/4/ составляет $1,67 \pm 0,13$. Распределение по числу протонов в звезде показано на рис. 2а. Их угловое распределение /рис. 2б/ близко к изотропному в задней полусфере и немного вытянуто вперед в передней полусфере. Для сравнения приведено угловое распределение протонов из реакции двойной перезарядки пионов на ядре гелия при начальном импульсе $/1,5 \pm 2,0/$ ГэВ/с^{11/}. Импульсный спектр протонов /рис. 3/ имеет такой же вид, как и в реакциях "обычной" двойной перезарядки. Импульсный спектр положительных частиц

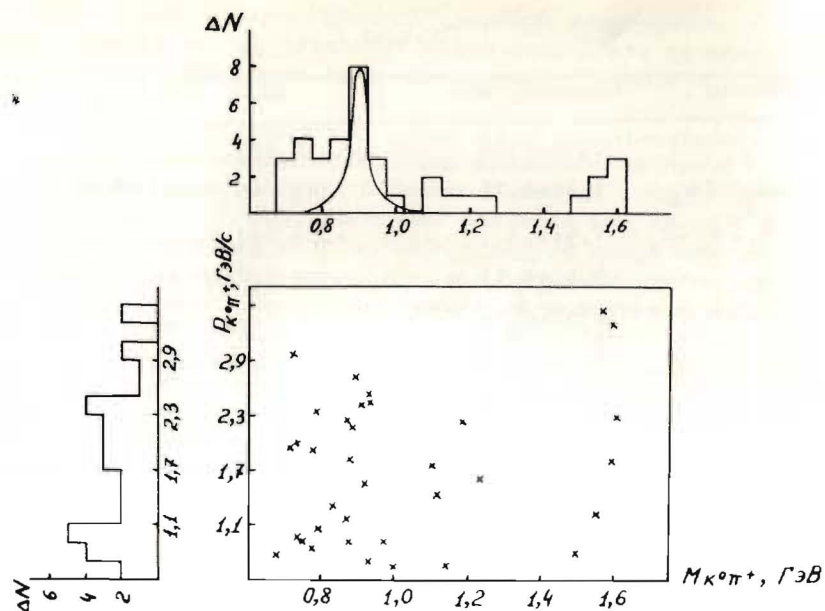


Рис.1. Двумерное распределение эффективная масса - импульс для системы $K^0 \pi^+$.

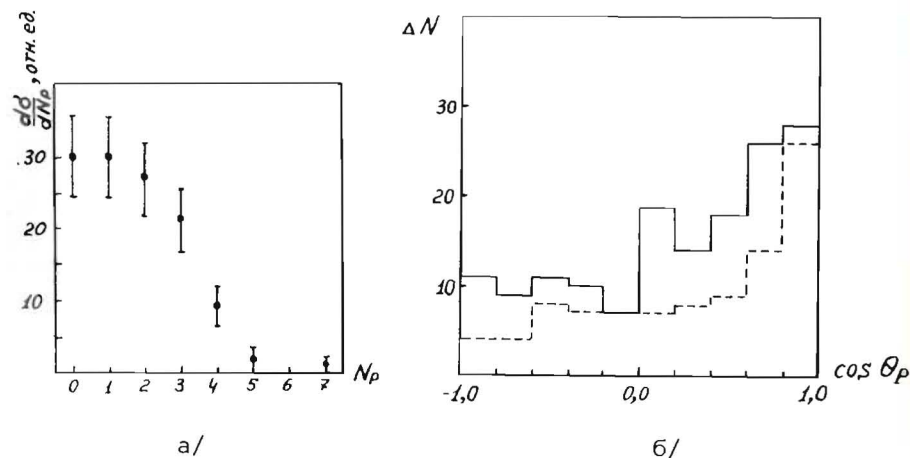
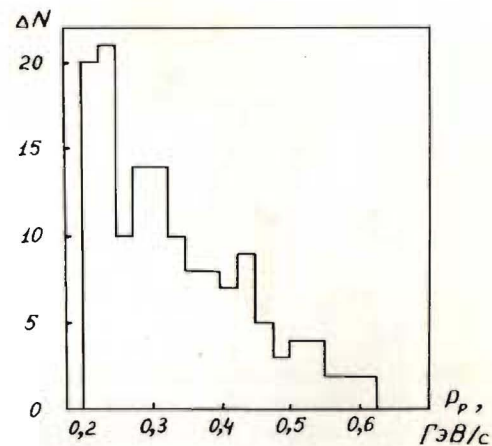


Рис.2. Распределение протонов: а/ по их количеству в звезде, б/ по углу вылета в Л-системе.

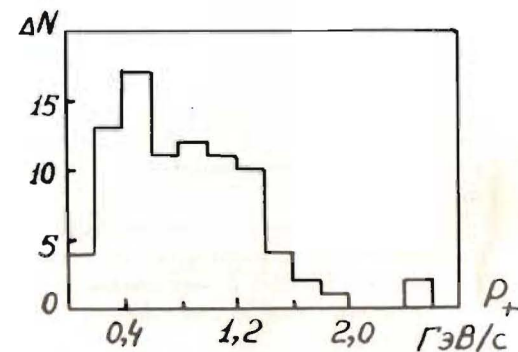
Рис.3. Импульсный спектр протонов в реакциях двойной перезарядки с изменением странности.



/за исключением идентифицированных протонов/ приведен на рис.4. Среднее значение импульса $/0,83 \pm 0,05/$ ГэВ/с составляет 22% от начального.

Одним из возможных механизмов двойной перезарядки пионов на ядрах является изобарный, соответствующий треугольной диаграмме, изображенной на рис.5а^{16/}. Переходы $\pi^- \rightarrow K^+$ или $\pi^- \rightarrow (K\pi)^+$ можно сопоставить с аналогичной диаграммой, если Δ -изобару заменить странной изобарой, и π^+ в верхней вершине заменить на K^+ или систему $(K\pi)^+$ /рис.5б/. Этот механизм, по-видимому, играет определенную роль. Действительно, спектр недостающих масс к системе $K^0 \pi^+$, вычисленный в предположении, что реакция идет на одном нуклоне, носит резонансный характер: в интервалах масс $1,25 \div 1,4$ ГэВ и $1,55 \div 1,7$ ГэВ зарегистрировано 12 событий, в то время как в промежуточной области $1,4 \div 1,55$ ГэВ нет ни одного.

Рис.4. Импульсный спектр положительных частиц /за исключением идентифицированных протонов/.



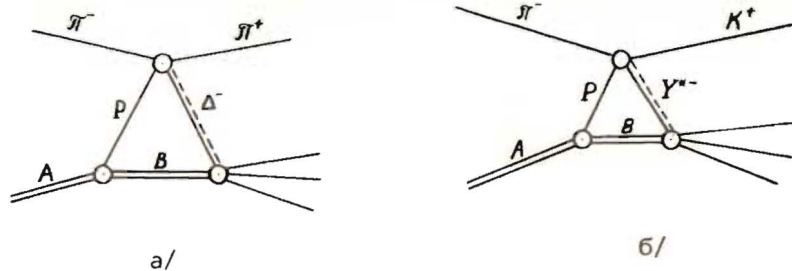
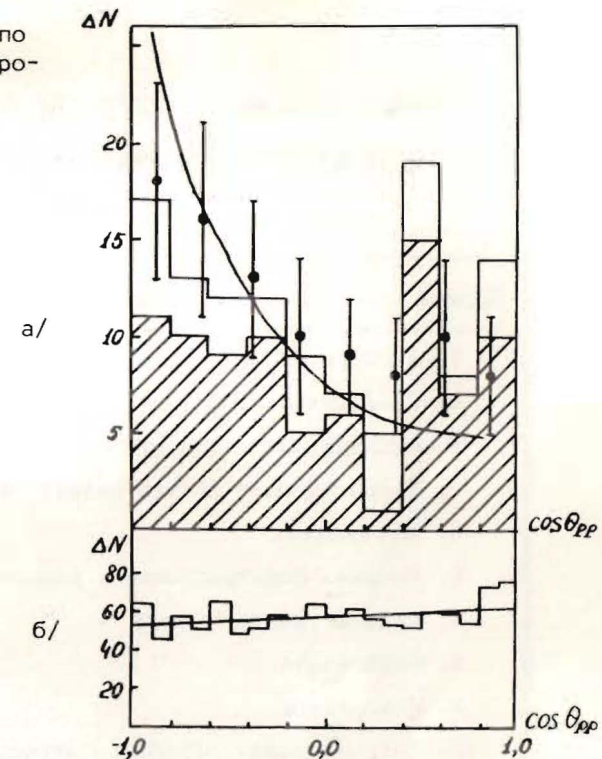


Рис. 5. Треугольные диаграммы, соответствующие одному из возможных механизмов: а/ двойной перезарядки пионов на ядрах, б/ двойной перезарядки пионов на ядрах с изменением странности.

Ранее нами было показано, что для реакции $\pi^- \rightarrow \pi^+ + (\pi^+ \pi^-)$, которая изучалась на той же экспозиции, основным является двухступенчатый механизм, когда на первой стадии в элементарном процессе образуется дополнительный медленный π^- -мезон, поглощающийся на второй стадии¹². Одним из аргументов в пользу этого вывода было характерное распределение по углу разлета двух протонов сопровождения /точки на рис. 6а/, очень похожее на распределение в "чистом" захвате ядрами останавливающихся π^- -мезонов /кривая на рис. 6а/. В реакциях двойной перезарядки с изменением странности имеет место аналогичная ситуация /гистограмма на рис. 6а/: протоны сопровождения разлетаются в основном под тупыми углами друг к другу. В инклюзивных реакциях с образованием странных частиц такая корреляция по углу между двумя протонами отсутствует /рис. 6б/. Кривая на рис. 6б получена как результат перемешивания протонов из разных звезд. Кроме отмеченной корреляции, на рис. 6а хорошо видны и "струи" протонов сопровождения с малым углом раствора конуса разлета. Если рассортировать события по величине недостающей массы к зарегистрированным продуктам реакции /исключая протоны/ в предположении, что реакция идет на одном нуклоне, то "струи" оказываются в основном принадлежащими к событиям с отрицательными квадратами недостающей массы /заштрихованная часть гистограммы на рис. 6а/.

Таким образом, реакции двойной перезарядки пионов на ядрах с изменением странности идут с сечениями, доступными для их изучения. Вопрос о механизме этих реакций требует проведения систематических исследований на разных ядрах и при различных энергиях.

Рис. 6. Распределения по косинусу угла между протонами в различных реакциях.



ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. ЭЧАЯ, 1977, 8, с.429.
2. Лексин Г.А. Ядерный скейлинг. Изд. МИФИ, М., 1975.
3. Вауков Y.D. et al. Phys.Lett., 1979, 85B, p.315.
4. Стрикман М.И., Франкфурт Л.Л. Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, с.373.
5. Батусов Ю.А. и др. ЖЭТФ, 1964, 46, с.817.
6. Далькаров О.Д., Шапиро И.С. ЯФ, 1968, 7, с.562.
7. Геворкян С.Р., Тарасов А.В., Цэрэн Ч. ЯФ, 1972, 15, с.55.
8. Germond J.F., Wilkin C. Lett. Nuovo Cim., 1975, 13, p.605.
9. Горнов М.Г. и др. ЯФ, 1978, 27, с.1578.
10. Демидов В.С. и др. ЯФ, 1969, 9, с.292.
11. Gaille F. et al. Nuovo Cim., 1977, 40A, p.31.
12. Василькова А.Д. и др. ЯФ, 1975, 21, с.1022.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 января 1980 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники