

Л-74

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1 - 8763

ЛОМАКИН Юрий Филиппович

ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ π^- -МЕЗОНОВ
С КВАЗИСВОБОДНЫМИ НЕЙТРОНАМИ
И ЯДРОМ УГЛЕРОДА ПРИ 5 ГЭВ/С

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1975

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель

доктор физико-математических наук - В.Б. Флягин.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук - Г.А.Лексин,
кандидат физико-математических наук - Ф.М.Сергеев.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт физики высоких энергий (г.Серпухов).

Автореферат разослан " " _____ 1975 г.

Защита диссертации состоится " " _____ 1975 г.
в " " час. на заседании Ученого совета Лаборатории
ядерных проблем Объединенного института ядерных иссле-
дований (г.Дубна, Московской области, Лаборатория ядер-
ных проблем ОИЯИ, конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математич. наук

Ю.А.Батусов

1 - 8763

ЛОМАКИН Юрий Филиппович

ИССЛЕДОВАНИЕ
ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ π^- -МЕЗОНОВ
С КВАЗИСВОБОДНЫМИ НЕЙТРОНАМИ
И ЯДРОМ УГЛЕРОДА ПРИ 5 ГЭВ/С

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

В последнее десятилетие в связи с успехами, достигнутыми в строительстве ускорителей, способных дать интенсивные пучки частиц высоких энергий для физических исследований, и прогрессом в теоретическом понимании процессов, происходящих при взаимодействии частиц высоких энергий, интенсивно развивается изучение дифракционных процессов как на нуклонах, так и на сложных ядрах.

После опубликования работ Е.Л.Фейнберга и И.Я.Померанчука^{/1/} и Гуда и Уолкера^{/2/} началось исследование процессов когерентного рождения адронов на различных ядрах^{/3/}.

К моменту начала наших исследований эксперименты по когерентному рождению Π -мезонов были проведены, в основном, на ядре дейтерия. Изучение когерентных процессов на более тяжелых ядрах были выполнены камерной и эмульсионной методиками (фактически для смеси ядер) для энергий больше 15 ГэВ. Опыты при более низких энергиях были статистически слабо обеспечены.

Эксперименты, вошедшие в диссертацию, выполнены на "чистой" мишени-ядре углерода и позволяют выяснить энергетическую зависимость сечений когерентных процессов в околороговой области.

Другим важным аспектом экспериментов на ядрах является исследование рождения резонансов на ядрах и их взаимодействия с внутриядерными нуклонами. Известно, что ряд важных характеристик таких взаимодействий, например, величину сечения взаимодействия продольно поляризованных ρ -мезонов^{/4/}, можно извлечь только из исследования некогерентных процессов рождения резонансов на ядрах. К сожалению, соответствующие экспериментальные данные очень скудны^{/5/}.

Ниже будут приведены оценки сечений взаимодействия ρ -мезона и Δ -изобарн, генерированных в некогерентных процессах, с нуклонами.

Феноменологический анализ экспериментальных данных в фазовом пространстве продольных импульсов был успешно использован для описания реакций с четырьмя частицами в конечном состоянии при энергиях свыше 10 ГэВ. На примере реакции $\Pi^- n \rightarrow \Pi^+ \Pi^- \Pi^- n$ в диссертации

ции показано, что этот метод может быть успешно применен и для существенно более низких энергий (~ 5 ГэВ).

Экспериментальный материал, вошедший в диссертацию, получен автором в 1968-1975 гг. в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ совместно с группой сотрудников, работающих на метровой пропановой камере под общим руководством члена-корреспондента АН СССР, проф. В.П.Джелепова.

Основные результаты, составившие содержание диссертации, были опубликованы в виде сообщений и препринтов ОИЯИ, в отечественных физических журналах и сборниках^{/6+13/}. Часть экспериментальных данных была представлена на международные конференции по физике высоких энергий и структуре ядра в Дубне (1971 г.) и по физике высоких энергий в Чикаго (1972 г.).

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении дан краткий обзор исследуемых проблем.

В первой главе приводится краткое описание метровой пропановой камеры^{/6/} и рассмотрены некоторые методические вопросы обработки камерных фотографий.

1. Определены точности, получаемые при обработке снимков с метровой пропановой камеры: ошибка в эффективной массе двух пионов в области массы ρ -мезона (780 МэВ) составляет около 30 МэВ.

2. Рассмотрены возможности ионизационных измерений^{/7/}. Разделение следов Π^+ -мезона и протона на снимках можно осуществить вплоть до импульсов этих частиц в 1,1+1,2 ГэВ/с с помощью ионизационных измерений и до ~ 0,8 ГэВ/с - визуально во время просмотра фотоснимков и отбора событий.

3. Определены топологические сечения Π^-n -взаимодействий при заданных правилах отбора событий^{/8/} (таблица 1). Данные таблицы основаны на обработке 124 135 фотографий, полученных при облучении метровой пропановой камеры в пучке Π^- -мезонов с импульсом 5 ГэВ/с синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Нормировочные сечения одного события для топологий "3 луча" и "5 лучей" найдены равными

$$\sigma_3^v = (2,03 \pm 0,16) \text{ мкбарн/соб.} \quad \text{и} \quad \sigma_5^c = (2,18 \pm 0,33) \text{ мкбарн/соб.}$$

Таблица 1

Топологические сечения генерации звезд с $Q = -1$ и их относительный вклад в полное неупругое сечение

Число лучей	Сечение мбарн	Относит. вклад, %	Число найденных событий
1	8,57±1,20	39,7±6,1	3405
3	11,00±0,87	50,9±5,3	6741
5	1,90±0,28	8,8±1,2	1081
7	0,13±0,07	0,6±0,3	49

Вторая глава диссертации посвящена исследованию процессов когерентного рождения трех и пяти пионов на ядрах углерода^{/9/}. Экспериментальный материал по реакции $\Pi \rightarrow 3\Pi$ на ядрах углерода основан на измерениях ~ 5.500 событий, соответствующих реакциям типа

$$\Pi^- C \rightarrow \Pi^+ \Pi^- \Pi^- + C, \quad (1)$$

$$\Pi^- n \rightarrow \Pi^+ \Pi^- \Pi^- + n + m \Pi^0, \quad (2)$$

$$\Pi^- n \rightarrow \Pi^0 \Pi^- \Pi^- + m \Pi^0, \quad (3)$$

где C - ядро углерода, n - нейтрон ядра углерода, P - протон, $m = 0, 1, 2, \dots$ - число Π^0 -мезонов. Искомому процессу соответствует реакция (1). Реакции (2) и (3) являются фоновыми по отношению к искомому процессу.

После измерения^{/14/} и обработки всех событий по программе идентификации каналов реакций^{/15/} для последующего анализа осталось ~ 1700 событий, одновременно удовлетворяющих реакциям (1) и (2) с $m = 0$. Примесь событий от (2) с $m \neq 0$ и от (3) по оценкам, полученным из расчетов методом Монте-Карло, не превышает 15 % от полного числа событий.

На рис.1 представлено распределение числа событий, соответствующих реакциям (1) и (2) с $m = 0$, в зависимости от квадрата 4-импульса t' , переданного налетающим пионом системе трех пионов. Из рисунка видно, что при $t' < 0,1$ (ГэВ/с)² наблюдается быстрый рост числа событий с уменьшением передаваемого импульса t' , который можно объяснить лишь когерентными взаимодействиями налетающего

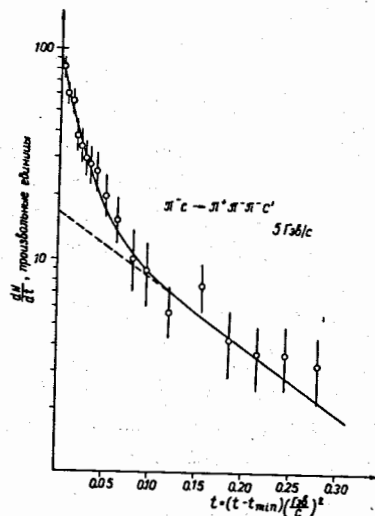


Рис. 1 - Дифференциальное сечение рождения системы (3π) на ядре углерода.

пиона с ядром углерода как целым. При аппроксимации экспериментальных данных суммой двух экспонент $\propto \exp(-Bt') + \beta \exp(-\ell t')$ параметры наклона дифференциального распределения "B" и " ℓ " оказались равными $(51,7 \pm 11,8) (\text{ГэВ/с})^{-2}$ и $(7,25 \pm 2,20) (\text{ГэВ/с})^{-2}$, что соответствует размерам мишеней; на которых произошло взаимодействие, $R = (2,45^{+0,27}_{-0,30})$ ферми и $r = (0,92^{+0,13}_{-0,15})$ ферми. Эти данные в пределах экспериментальных погрешностей совпадают с радиусами ядра углерода и нуклона. Сечение когерентного рождения трех пионов пионами с импульсом 5 ГэВ/с на ядрах углерода найдено равным

$$\sigma_{\text{ког}} = (264 \pm 37) \text{ мкбарн.}$$

На рис.2 представлены распределения по эффективным массам $\pi^+\pi^-$ и $\pi^+\pi^-\pi^0$ -комбинаций для $t' < 0,05 (\text{ГэВ/с})^2$. Распределение эффективных масс трех пионов имеет характерный для процессов когерентного рождения широкий пик от 0,9 ГэВ до 1,4 ГэВ с максимумом при 1,1+1,2 ГэВ. В распределении по эффективным массам $\pi^+\pi^-$ -комбинаций виден четкий пик в области массы ρ -мезона, указывающий на преимущественное образование системы $\rho\pi$ в процессе когерентного рождения трех пионов.

Поиск когерентного рождения системы (5π) на ядрах углерода^{10/} при 5 ГэВ привел к оценке верхней границы величины сечения этого процесса

$$\sigma_{\text{ког}}^{(5\pi)} < 36 \text{ мкбарн/ядро углерода}$$

на уровне достоверности 95%.

В третьей главе проводится анализ четырехчастичной реакции $\pi^-n \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0n$ в фазовом пространстве продольных импульсов при энергии 5 ГэВ^{11/}. Из более ранних экспериментов было известно, что при энергиях выше 10 ГэВ такой анализ в применении к четырехчастичным реакциям с достаточной степенью точности позволяет разделить механизмы дифракционной диссоциации и мезонного обмена^{16/}.

В данной работе показано, что анализ четырехчастичной реакции в фазовом пространстве продольных импульсов при энергии 5 ГэВ позволяет не только качественно, но и количественно (с 10+15%-точностью) выделить механизм дифракционной диссоциации.

В таблице 2 приведены сечения реакции $\pi^-n \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0n$ в секторах фазового пространства продольных импульсов, отвечающих раз-

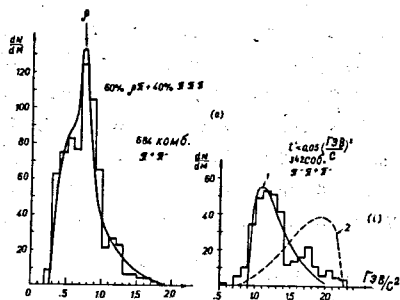


Рис. 2 - Распределения по эффективным массам комбинаций $\pi^+\pi^-$ и $\pi^+\pi^+\pi^-$ для $t' < 0,05$ (ГэВ/с)².

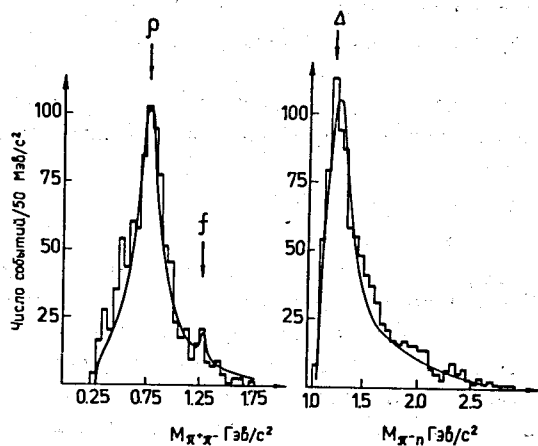


Рис. 3 - Распределения по эффективным массам комбинаций $(\pi^+\pi^-)$ и $(\pi^-\pi)$ из реакции $\pi^-n \rightarrow \pi^+\pi^-\pi$ для $t < 0,5$ (ГэВ/с)².

личным механизмам: секторы I и III соответствуют дифракции налетающей частицы и частицы мишени, секторы II и IV - одновременной дифракции сталкивающихся частиц. Для сравнения в табл.2 приведены аналогичные данные о реакции $\pi^+p \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-p$ при энергиях 8, 11,7 и 16 ГэВ.

Таблица 2

Полные эффективные сечения σ (мкб) в секторах фазового пространства продольных импульсов

Энергия, ГэВ	16/16/	11,7/17/	8/18/	5 Данная работа
реакция секторы	π^+p	π^+p	π^+p	π^-n
I	506±60	472±50	526±14	415±42 (679±36)
II	430±52	582±64	830±17	938±42
III	275±34	274±30	307±10	290±23
IV	77±12	110±12	167±8	266±25

Из таблицы 2 следует, что величины сечения для секторов I и III, связанные с дифракционной диссоциацией налетающей частицы (пиона) и мишени (нуклона), соответственно, остаются постоянными в пределах ошибок экспериментов при изменении энергии в широком диапазоне от 5 до 16 ГэВ, что является характерным для процессов, в которых обменной частицей является померон (для сектора I из полного сечения, указанного в таблице 2 в скобках, вычтено сечение когерентного рождения трех пионов на ядрах углерода). Эффективные сечения для секторов II и IV падают с ростом энергии, что согласуется с моделями мезонных обменов.

Четвертая глава посвящена исследованию процессов рождения резонансов на ядрах углерода и их взаимодействия с внутриядерными нуклонами.

Представленные в § 1 гл.IV результаты анализа рождения резонансов ρ^0 , f^0 , Δ_{33} в реакции $\pi^-n \rightarrow \pi^+\pi^-\pi$ при 5 ГэВ/12/пс показывают, что внутриядерные взаимодействия как самих резонансов, так и продуктов их распада приводят к сдвигу в экспериментальных распределениях по эффективным массам и увеличению ширины резонансов (таблица 3).

Таблица 3

Резонанс	M рез., МэВ/с ²		Ширина рез. Γ , МэВ/с ²	
	наши данные	табличные данные	наши данные	табличные данные
ρ^0 - мезон	819 \pm 12	770 \pm 10	324 \pm 56	150 \pm 10
f^0 - мезон	1280 \pm 9	1270 \pm 10	55 \pm 43	170 \pm 30
Δ_{33}^- -изобара	1283 \pm 9	1230+1236	265 \pm 26	110 \pm 112

В таблице 4 приведены данные по эффективным сечениям процессов с рождением резонансов ρ^0 , f^0 и Δ_{33}^- в реакции $\Pi^-n \rightarrow \Pi^+\Pi^-\Pi^0$ при 5 ГэВ вместе с аналогичными данными для четырехчастичных Π^+p -взаимодействий.

Таблица 4

Реакция $\Pi^-n \rightarrow$	Сечение канала (мбарн)	Реакция $\Pi^+p \rightarrow$	Сечение канала (мбарн)	Энергия (ГэВ)
$\Delta_{33}^- \pi^+\pi^-$	0,80 \pm 0,09	$\Delta_{33}^{++} \pi^+\pi^-$	1,36 \pm 0,18	5,5 ^{/19/}
$\rho^0 \pi^-\pi^0$	1,32 \pm 0,17	$\rho^0 \pi^+p$	1,25 \pm 0,17	5,5 ^{/19/}
$f^0 \pi^-\pi^0$	0,11 \pm 0,05			
$\rho^0 \Delta_{33}^-$	0,23 \pm 0,05	$\rho^0 \Delta_{33}^{++}$	0,68 \pm 0,09	5,5 ^{/19/}
$f^0 \Delta_{33}^-$	0,06 \pm 0,03	$f^0 \Delta_{33}^{++}$	0,112 \pm 0,030	5,0 ^{/20/}

Заметное уменьшение сечения образования Δ_{33}^- и совместного рождения ρ^0 (f^0)-мезона и Δ_{33}^- -изобары в нашем эксперименте по сравнению с данными работ^{/19,20/} может быть объяснено вторичными взаимодействиями с внутриядерными нуклонами как самих резонансов, так и продуктов их распада.

Получены также данные о поведении элементов спиновой матрицы плотности ρ -мезона и Δ -изобары в зависимости от переданного этим резонансам четырехимпульса t' , которые в пределах ошибок эксперимента совпадают с аналогичными данными для Π^+p -взаимодействий при близких энергиях.

В § 2 гл.IV получены оценки сечений взаимодействия $A_1(1100)$, ρ^0 и Δ_{33}^- с внутриядерными нуклонами ядра углерода^{/13/}. Использование формализма^{/21/} модели Глаубера позволило оценить вели-

чину сечения взаимодействия когерентно-рожденной системы трех пионов (A_1 -мезона) с нуклонами

$$\sigma_{A_1N} = (48^{+17}_{-10}) \text{ мбарн.}$$

Найденная нами величина σ_{A_1N} почти в два раза превышает аналогичную величину по данным эксперимента при 15,1 ГэВ^{/22/}. Это возрастание сечения при переходе к более низким энергиям может быть связано как с распадом заметной доли A_1 мезонов внутри ядра до взаимодействия, так и с увеличением относительного вклада 0^- -волны (в A_1 -пике), которая поглощается в ядерной материи сильнее, чем 1^+ -волна.

Оценка сечений взаимодействия ρ^0 -мезона и Δ_{33}^- -изобары с внутриядерными нуклонами^{/13/} получена из данных о рождении резонансов на квазисвободных нейтронах ядра углерода, рассмотренных выше, с привлечением формализма Колбига и Марголиса^{/23/} теории Глаубера.

Найденные сечения взаимодействия ρ^0 -мезона и Δ_{33}^- -изобары оказались равными

$$\sigma_{\rho^0N} = (24^{+13}_{-10}) \text{ мбарн,}$$

$$\sigma_{\Delta_{33}^-N} = (75^{+30}_{-18}) \text{ мбарн.}$$

Величина σ_{ρ^0N} хорошо согласуется с другими данными^{/15/} и близка к сечениям взаимодействия пионов с нуклонами.

Большая величина сечения $\sigma_{\Delta_{33}^-N}$ связана, в основном, с распадом "медленной" (максимум в распределении по импульсам Π^-n -комбинаций из области изобары расположен при 0,5+0,8 ГэВ/с) изобары и с последующим взаимодействием продуктов распада с ядерными нуклонами.

Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом:

1. Установлен факт существования процесса когерентного рождения трех пионов отрицательными пионами с импульсом 5 ГэВ/с. Сечение процесса оказалось равным

$$\sigma_{\text{ког}}^{(3\Pi)} = (264 \pm 37) \text{ мкбн/ядро углерода.}$$

10. Н.С.Амаглобели, Ю.А.Будагов, ... , Ю.Ф.Ломакин и др.
ФТИ АН УССР, Вопросы атомной науки и техники, серия ФВЭАД,
вып. 2(4), Харьков, 1973.
11. Н.С.Амаглобели, Ю.А.Будагов, ... , Ю.Ф.Ломакин и др.
Сообщения ОИЯИ Р1-8278, Дубна, 1974;
12. Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов, ... , Ю.Ф.Ломакин и др.
Препринт ОИЯИ Р1-8702, Дубна, 1975.
13. Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов, ... , Ю.Ф.Ломакин и др.
Препринт ОИЯИ Р1-8703, Дубна, 1975.
14. В.М.Шигаев, А.А.Шуравин. Труды IV Симпозиума по радиоэлектронике,
Прага, 1966.
15. З.М.Иванченко и др. Препринт ОИЯИ Р11-3983, Дубна, 1968.
16. W.Kittel et al. Nucl.Phys. B30, 333, 1971
17. J.Bartsch et al. Nucl.Phys. B19, 381, 1970
18. M.Szeptycka. Report № 1342/VI/PH, Warszawa, 1971
19. J.D.Prentice et al. XV ICNEP, Kiev, 1970
20. C.L.Pols et al. Nucl.Phys. B25, 109, 1971
21. D.Fournier. Preprint Orsay-91, NAL 1237, 1970
22. C.Vemporad et al. Nucl.Phys. B33, 397, 1971
23. K.S.Kolbig and B.Margolis. Nucl.Phys. B6, 85, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 апреля 1975 г.