

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

1229/83

19/3-83
P1-82-887

В.В.Архипов, Р.Г.Аствацатуров, Е.Кнапик,*
А.И.Малахов, Г.Л.Мелкумов, С.Н.Пляшкевич,
М.Н.Хачатурян

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ СЕЧЕНИЕ
РОЖДЕНИЯ η -МЕЗОНОВ
НА УГЛЕРОДЕ π^- -МЕЗОНАМИ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 3,3 ГэВ/с

Направлено в журнал "Ядерная физика"

* Институт ядерных исследований, Свερк, ПНР.

1982

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование процессов рождения нестабильных частиц на сложных ядрах при высоких энергиях является уникальным источником информации о взаимодействии короткоживущих частиц - резонансов с внутриядерными нуклонами. Эти данные позволяют получить сведения о свойствах резонансов, а также проверить применимость существующих теоретических моделей для описания таких процессов. Этим объясняется интерес к изучению процессов рождения резонансов на ядрах за последние несколько лет.

В настоящее время имеется значительное число экспериментальных работ по когерентному и некогерентному рождению векторных мезонов ρ^0 , ω^0 , ϕ^0 и т.п./ и систем, состоящих из нескольких бозонов 3π , 5π , $K\pi\pi$ и т.п./, на ядрах в пучках гамма-квантов, пионов и каонов с импульсом, превышающим 2 ГэВ/с^{1/2}. Однако экспериментальных данных по рождению η -мезонов на ядрах в пучках π^- -мезонов существенно меньше^{2-7/}. Что же касается исследований при энергиях порядка нескольких ГэВ, то данные о дифференциальных сечениях реакции в области малых передаваемых 4-импульсов практически отсутствуют. С другой стороны, при $t \rightarrow 0$ ожидаются некоторые особенности в t -зависимости дифференциальных сечений, связанные с проявлением корреляций между нуклонами ядра из-за принципа Паули и спин-изоспиновой зависимости амплитуды реакции перезарядки^{8/}.

В настоящей работе приведены результаты измерений дифференциальных сечений реакции:



на ядрах углерода в диапазоне $-t_{\min} \leq t \leq 0,4$ /ГэВ/с² / $-t_{\min} = 0,002$ /ГэВ/с²/ при импульсе π^- -мезонов 3,3 ГэВ/с.

Измерения выполнены с помощью 90-канального черенковского масс-спектрометра /установка "Фотон"^{9/} / на пучке синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. На этой же установке при импульсе пионов 3,3 ГэВ/с были проведены эксперименты по исследованию реакции:



с использованием жидководородной мишени^{10,11/}. Это позволило провести прямое сравнение сечений реакций /1/ и /2/ методом, свободным от влияния систематических погрешностей.

2. ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Схема эксперимента приведена на рис.1. В состав экспериментальной аппаратуры входят:

- а/ пучковые детекторы /сцинтилляционные счетчики, пропорциональные камеры и черенковский газовый счетчик/,
- б/ детекторы для определения углов вылета и энергий γ -квантов от распада рожденных в мишени резонансов /два идентичных плеча масс-спектрометра, расположенных симметрично по отношению к оси пучка/.

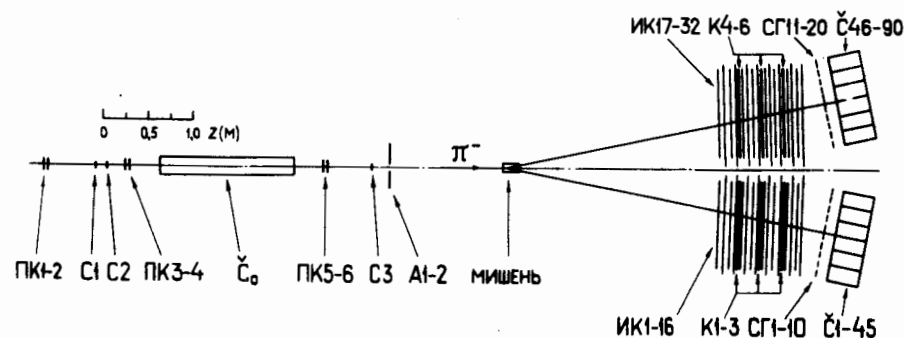


Рис.1. Схема эксперимента: С1-3 - мониторные сцинтилляционные счетчики; А1-2 - антисовпадательные сцинтилляционные счетчики; СГ1-20 - годоскопические сцинтилляционные счетчики; ПК1-6 - пропорциональные камеры; ИК1-32 - проволочные искровые камеры; К1-6 - медные конверторы; С₀ - газовый черенковский счетчик; С1-90 - черенковские гамма-спектрометры.

Пучок π^- -мезонов с импульсом 3,3 ГэВ/с, падающий на углеродную мишень толщиной 14,3 г/см², контролируется с помощью сцинтилляционных счетчиков размерами 5x5 см². Пропорциональные камеры ПК1-6 размерами 15x15 см² позволяют контролировать профиль пучка и определять траекторию налетающих на мишень π^- -мезонов. Черенковский пороговый счетчик С₀ используется для выделения в пионном пучке электронов с целью энергетической калибровки черенковских гамма-спектрометров.

Каждое плечо спектрометра состоит из: а/ 16 искровых камер с рабочей площадью 92x92 см², которые собираются в группы по четыре и разделяются медными конверторами толщиной 0,4 рад.ед., б/ 10 сцинтилляционных годоскопических счетчиков длиной 100 см, в/ 45 модулей черенковских гамма-спектрометров полного поглощения с радиаторами из свинцового стекла /рабочая площадь $\approx 100 \times 100$ см²/.

Установка работает на линии с ЭВМ HEWLETT-PACKARD 2116B, осуществляющей прием, накопление, контроль и предварительный отбор информации с детекторов и управление работой аппаратуры.

Эксперименты по исследованию реакций /1/ и /2/ проводились в одной и той же геометрии, в которой угол между осями двух плеч масс-спектрометра равен 22° , а расстояние между центром мишени и годоскопом черенковских гамма-спектрометров составляет 375 см.

Установка запускается, если имеет место совпадение /см.рис.1/: $C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot A1-2 \cdot CГ1-10 \cdot CГ11-20 \cdot C1-45 \cdot C46-90$ при условии, что энергия частиц, зарегистрированных черенковскими спектрометрами левого и правого плеча /соответственно E_1 и E_2 /, а также их сумма ($E_1 + E_2$) превышают пороговые значения: $E_1, E_2 \geq 300$ МэВ, $(E_1 + E_2) \geq 2500$ МэВ.

В эксперименте с углеродной мишенью на магнитной ленте было записано 22116 триггеров.

3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Экспериментальная информация обрабатывалась на ЭВМ CDC-6500 с помощью программ геометрической и энергетической реконструкции событий /12/.

Отбор двугаммных событий осуществлялся при условии, что а/ в искровых камерах ИК1-4 и ИК17-20 /первые четверки ИК со стороны мишени/ отсутствуют треки заряженных частиц:

б/ в искровых камерах ИК5-16 и ИК21-32 зарегистрировано не менее двух треков заряженных частиц или ливней после i -го конветора / $i = 1, 2, 3$ и $4, 5, 6$ /;

в/ имеются сигналы в годоскопических сцинтилляционных счетчиках СГ1-10 и СГ11-20, соответствующих пространственно трекам в искровых камерах;

г/ есть сигналы в гамма-спектрометрах C1-45 и C46-90, соответствующие трекам в искровых камерах.

Таким образом из экспериментального материала было отобрано 1209 $\gamma\gamma$ -событий, распределенных в интервале эффективных масс $300 \div 700$ МэВ.

При идентификации $\gamma\gamma$ -событий, относящихся к реакции /1/, вводились ограничения по следующим кинематическим параметрам:

$$\begin{aligned} 400 \text{ МэВ} \leq E_{\gamma 1}(E_{\gamma 2}) \leq 2800 \text{ МэВ} & \quad 17^\circ \leq \Theta_{\gamma\gamma} \leq 26^\circ \\ 3000 \text{ МэВ} \leq (E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2}) \leq 3500 \text{ МэВ} & \quad 600 \text{ МэВ} \leq M_n \leq 1100 \text{ МэВ} \\ E_{\gamma^M} / E_{\gamma^B} > 0,2 & \quad 440 \text{ МэВ} \leq M_{\gamma\gamma} \leq 640 \text{ МэВ}, \end{aligned}$$

где $E_{\gamma 1}, E_{\gamma 2}$ - значения энергии γ -квантов, $(E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2})$ - суммарная энергия обоих γ -квантов, $E_{\gamma^M} / E_{\gamma^B}$ - отношение меньшего из двух значений энергии γ -квантов к большему, $\Theta_{\gamma\gamma}$ - угол разлета γ -квантов в л.с.к., M_n - недостающая масса, $M_{\gamma\gamma}$ - эффективная масса системы двух γ -квантов.

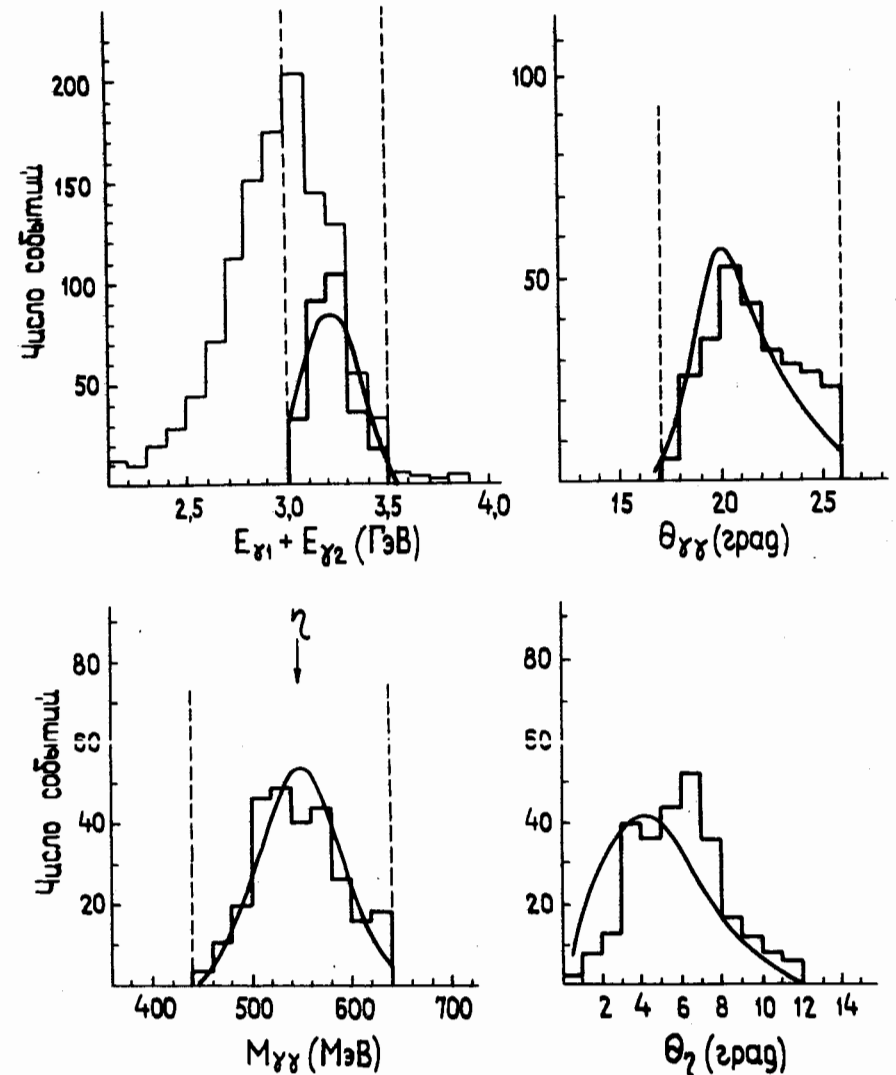


Рис.2. Распределения событий реакции $\pi^- A_Z + \eta A_{Z-1} \rightarrow \gamma\gamma$ на ядре углерода по энергии ($E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2}$), углу разлета ($\Theta_{\gamma\gamma}$), эффективной массе ($M_{\gamma\gamma}$) и углу вылета η -мезонов (Θ_η). Сплошные кривые получены методом Монте-Карло. Штрихованные линии - пределы ограничений по кинематическим параметрам.

Критерии отбора определялись на основании моделирования методом Монте-Карло основных процессов, являющихся источником $\gamma\gamma$ -

событий, регистрируемых установкой. В результате применения указанных критериев было идентифицировано 273 распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ из реакции /1/. При этом, как показал результат моделирования, величина отношения фон/эффект составляет $\sim 10\%$, а влияние фоновых событий на форму распределения $d\sigma/dt$ незначительно и находится в пределах ошибок измерений.

На рис.2 приведены экспериментальные распределения η -мезонных событий по величинам $(E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2})$, $\Theta_{\gamma\gamma}$, $M_{\gamma\gamma}$ и по углу вылета η -мезона относительно направления движения налетающего пиона Θ_{η} . Вертикальными штрихованными линиями обозначены пределы ограничений по кинематическим параметрам. Распределения по величине $(E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2})$ приведены как для 273 идентифицированных событий, так и для всех 1209 зарегистрированных $\gamma\gamma$ -событий.

Сплошные кривые на рис.2 получены путем моделирования методом Монте-Карло реакции на свободном протоне с учетом условий настоящего эксперимента и нормированы на полное число событий в экспериментальных гистограммах. В ходе обработки данных реакции /2/ на водороде было получено хорошее согласие экспериментальных и смоделированных распределений для всех кинематических параметров /14/. На рис.2 заметное различие экспериментальных и смоделированных распределений наблюдается лишь для распределения по углу вылета η -мезонов в л.с.к. Θ_{η} .

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

4.1. Дифференциальное сечение $d\sigma/dt$

При вычислении дифференциальных сечений реакции /1/ эффективность регистрации событий в зависимости от передаваемого 4-импульса $|t|$ определялась моделированием.

Абсолютные значения дифференциальных сечений $d\sigma/dt$ реакции /1/ на углероде получены нормировкой на наши данные $d\sigma/dt$ реакции /2/ на водороде /11/. При определении фактора нормировки были учтены различия в условиях экспериментов на углеродной и водородной мишенях, такие, как: эффективность регистрации событий по $|t|$, геометрические размеры и тип мишени, вероятность конверсии γ -квантов в мишени, количество π^- -мезонов, прошедших через установку, и др.

Экспериментальные значения дифференциальных сечений $d\sigma/dt$ рождения η -мезона на углероде пионами с импульсом 3,3 ГэВ/с в интервале $t_{\min} \leq -t \leq 0,4$ /ГэВ/с² приведены на рис.3 и в табл.1. Выбранные интервалы по $|t|$ имеют величину, близкую к разрешающей способности аппаратуры. Указанные ошибки измерений $d\sigma/dt$ - статистические. Сплошная кривая /1/ на рис.3 является результатом параметризации экспериментальных данных функцией $d\sigma/dt = A(1-gct)e^{ct}$. Методом наименьших квадратов для параметров A , g и c найдены значения: $A = /0,012 \pm 0,009/$ мб//ГэВ/с², $g = /240 \pm 163/$, $c = /5,8 \pm 0,7/$ /ГэВ/с⁻².

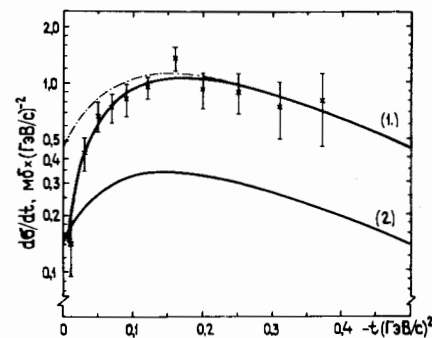


Рис.3. Дифференциальное сечение $d\sigma/dt$ реакции $\pi^-A_Z \rightarrow \eta A_{Z-1}$ на ядре углерода при импульсе пионов 3,3 ГэВ/с. Сплошные кривые: /1/ - получена параметризацией экспериментальных данных выражением $d\sigma/dt = A(1-gct)e^{ct}$, /2/ - то же самое для реакции $\pi^-p \rightarrow \eta p$, по данным работы /11/. Штрихованная кривая - результат умножения кривой /2/ на $Z^C = 3,2$.

Таблица 1

Дифференциальное сечение $d\sigma/dt$ реакции /1/ на углероде при импульсе $P_{\pi^-} = 3,3$ ГэВ/с

Δt /ГэВ/с ²	$-t$ /ГэВ/с ²	$d\sigma/dt$ мб•/ГэВ/с ⁻²
0-0,02	0,01	0,14 \pm 0,05
0,02-0,04	0,03	0,43 \pm 0,09
0,04-0,06	0,05	0,68 \pm 0,12
0,06-0,08	0,07	0,75 \pm 0,14
0,08-0,10	0,09	0,82 \pm 0,16
0,10-0,14	0,12	0,95 \pm 0,14
0,14-0,18	0,16	1,36 \pm 0,20
0,18-0,22	0,20	0,93 \pm 0,20
0,22-0,28	0,25	0,90 \pm 0,21
0,28-0,34	0,31	0,76 \pm 0,25
0,34-0,40	0,37	0,81 \pm 0,37

Чтобы сравнить дифференциальные сечения реакций на углероде и водороде, на рис.3 приводятся данные для водорода, взятые из работы /11/ кривая /2//. Из рисунка видно, что при $t \rightarrow 0$ минимум в дифференциальном сечении для реакции /1/ выражен значительно сильнее, чем для реакции /2/. Аналогичный результат получен при импульсе налетающих π^- -мезонов 40 ГэВ/с /7/.

Экспериментальные результаты измерений не корректировались на эффекты, связанные с разбросом по импульсу ферми-движения нуклонов в ядре. Однако оценки, полученные при моделировании t -зависимости эффективности регистрации событий, показывают, что учет движения нуклонов в ядре приводит к некоторому размытию распределений кинематических параметров реакции, но в пределах статистических ошибок не влияет на форму кривой /1/.

4.2. Экспериментальное определение $Z_{\text{эфф.}}^C$.

В теории многократного дифракционного рассеяния /15-17/ вводится понятие эффективного числа протонов /нуклонов/ в ядре $Z_{\text{эфф.}}$, а дифференциальное сечение реакции на ядре в некотором приближении описывается формулой:

$$(d\sigma/dt)_{\text{ядро}} = (d\sigma/dt)_H \cdot Z_{\text{эфф.}}^C(A, \sigma_1, \sigma_2). \quad /3/$$

где $(d\sigma/dt)_{\text{ядро}}$ - сечение реакции на ядре, $(d\sigma/dt)_H$ - сечение реакции на свободном протоне, σ_1 и σ_2 - соответственно сечения взаимодействия налетающих и рожденных частиц с нуклонами ядра, A - массовое число. В предположении, что $Z_{\text{эфф.}}^C(t) = \text{const}$, экспериментальное определение $Z_{\text{эфф.}}^C$ для данного ядра сводится к задаче сравнения сечений реакции на ядре и на водороде в заданном диапазоне переданных 4-импульсов. Такая простая зависимость сечений имеет место в случае, если пренебречь многократным перерассеянием на нуклонах ядра налетающей и рожденной частиц, что справедливо лишь для событий со сравнительно малыми переданными 4-импульсами. С другой стороны, при очень малых значениях $|t|$ на амплитуду реакции рождения частиц на ядрах начинают влиять принцип Паули и спин-изоспиновая зависимость, что приводит к уменьшению $(d\sigma/dt)_{\text{ядро}}$ при $t \rightarrow 0$ /8/.

Поэтому для определения эффективного числа протонов в ядре углерода $Z_{\text{эфф.}}^C$, мы сравнивали наши данные по сечениям реакций на углероде и водороде, проинтегрированные в диапазоне $0,1 \leq -t \leq 0,4$ /ГэВ/с². Полученное значение для $Z_{\text{эфф.}}^C$ равно:

$$Z_{\text{эфф.}}^C = \frac{\sigma^C(0,1 \leq -t \leq 0,4)}{\sigma^H(0,1 \leq -t \leq 0,4)} = 3,2 \pm 0,7. \quad /4/$$

Для более наглядной иллюстрации различий в поведении дифференциальных сечений реакции рождения η -мезонов на углероде и водороде при $t \rightarrow 0$, на рис.3 приводится штрих-пунктирная кривая, полученная, согласно выражению /3/, умножением дифференциального сечения реакции на водороде /кривая /2// на $Z_{\text{эфф.}}^C = 3,2$.

В опубликованных ранее работах авторы приводят значения $Z_{\text{эфф.}}^C$, определенные без учета структуры дифференциальных сечений при

$-t \leq 0,1$ /ГэВ/с². Для сравнения полученного значения $Z_{\text{эфф.}}^C$ с результатами других экспериментов /см. табл.2/ $Z_{\text{эфф.}}^C$ было вычислено в диапазоне $0 \leq -t \leq 0,5$ /ГэВ/с²: $Z_{\text{эфф.}}^C / 0 \pm 0,5 / = 3,0 \pm 0,6$.

Таблица 2

p_{Π} - (ГэВ/с)	3,0	3,3	7,82	40,0	40,0	48,0
$Z_{\text{эфф.}}^C$	$2,7 \pm 0,1$	$3,0 \pm 0,6$	$3,3 \pm 0,4$	$2,7 \pm 0,7$	$3,15 \pm 0,06$	$3,7 \pm 0,3$
$0 \leq -t \leq 0,5$ (ГэВ/с) ²		$3,2 \pm 0,7$ /*/	$3,3 \pm 0,4$ /**/			$3,7 \pm 0,3$ /***/
Ссылка	3.	данная работа	2.	6.	7.	4.

- /*/ $0,1 \leq -t \leq 0,4$ (ГэВ/с)²
- /**/ $0,0 \leq -t \leq 0,75$ (ГэВ/с)²
- /***/ $0,0 \leq -t \leq 2,0$ (ГэВ/с)²

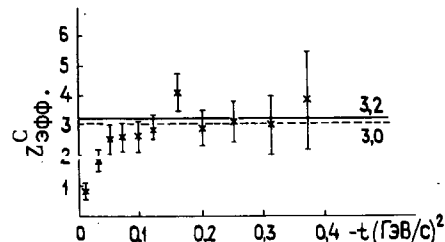


Рис.4. Зависимость $Z_{\text{эфф.}}^C$ от t для реакции $\pi^-A_7 \rightarrow \eta A_{7-1}$ на ядре углерода при импульсе пионов 3,3 ГэВ/с.

На рис.4 приведена t -зависимость значений $Z_{\text{эфф.}}^C$, определенных на основании /3/, по данным для углерода и водорода, в диапазоне переданных 4-импульсов $0 \leq -t \leq 0,4$ /ГэВ/с². На том же рисунке указаны уровни постоянных значений $Z_{\text{эфф.}}^C = 3,2$ и $3,0$. Видно, что предположение $Z_{\text{эфф.}}^C(t) = \text{const}$, существенное для экспериментального определения числа нуклонов в ядре, сильно нарушается в области $-t \leq 0,1$ /ГэВ/с².

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в работе результаты экспериментального исследования реакции /1/ на ядрах углерода при импульсе пионов 3,3 ГэВ/с сравниваются с результатами, полученными ранее на той же установке для реакции на свободных протонах /2/. В дифференциальном сечении реакции /1/, измеренном в интервале $t_{\text{мин}} \leq -t \leq 0,4$ /ГэВ/с², обнаружен минимум в переднем направлении, который в области $-t \leq 0,2$ /ГэВ/с² проявляется значительно сильнее, чем для реакции на водороде.

Анализ структуры дифференциальных сечений позволил определить область переданных импульсов, в которой, в рамках глауберовского подхода к теории процессов рождения частиц на ядрах, вычисление эффективного числа протонов в ядре $Z_{\text{эфф.}}^C = \sigma(\pi^- A_Z \rightarrow \eta A_{Z-1}) / \sigma(\pi^- p \rightarrow \eta p)$ является более корректным. Найдено значение $Z_{\text{эфф.}}^C = 3,2 \pm 0,7$, согласующееся в пределах экспериментальных ошибок с результатами при других энергиях.

В заключение авторы пользуются случаем, чтобы поблагодарить А.М.Балдина за поддержку и внимание, В.И.Иванова, В.А.Крамаренко, В.И.Прохорова, Б.М.Старченко за участие в измерениях и В.М.Изъюрова за помощь в фитировании экспериментальных данных на ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев Ю.М. В сб.: Элементарные частицы. Атомиздат, М., 1975, вып.1, с.45.
2. Guisan O. et al. Nucl.Phys., 1971, B32, p.681.
3. Caldwell D.O. et al. Preprint Univ. of California, 1973; II Aix-en-Provence Int.Conf. on Elementary Particles, contributed paper. Journ.de Phys., 1973, 34, C1-503.
4. Болотов В.Н. и др. ЯФ, 1974, 20, с.949.
5. Бармин В.В. и др. Препринт ИТЭФ, № 22, М., 1977.
6. Апокин В.Д. и др. ЯФ, 1982; 35, с.382.
7. Апокин В.Д. и др. Препринт ИФВЭ № 82-48, Серпухов, 1982.
8. Коротких В.Л. Рождение резонансов на ядрах пионами высоких энергий. Изд-во МГУ, М., 1973.
9. Аверичев С.А. и др. ПТЭ, 1979, № 4, с.57.
10. Аствацатуров Р.Г. и др. ЯФ, 1978, 27, с.401.
11. Arkhipov V.V. et al. JINR, E1-11596, Dubna, 1978.
12. Мелкумов Г.Л., Хачатурян М.Н. ОИЯИ, 10-8170, Дубна, 1974.
13. Мелкумов Г.Л., Хачатурян М.Н. ОИЯИ, 10-7960, Дубна, 1974.
14. Мелкумов Г.Л. ОИЯИ, 1-13014, Дубна, 1979.
15. Kolbig K.S., Margolis V. Nucl.Phys., 1968, B6, p.82.
16. Глаубер Р. УФН, 1971, 103, с.641.
17. Геворкян С.Р. и др. ОИЯИ, P2-6581, Дубна, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 декабря 1982 года.

Архипов В.В. и др.

P1-82-887

Дифференциальное сечение рождения η -мезонов на углероде π^- -мезонами при импульсе 3,3 ГэВ/с

Представлены результаты экспериментального исследования реакции $\pi^- A_Z \rightarrow \eta A_{Z-1}, \eta \rightarrow \gamma\gamma$ на ядре углерода при импульсе пионов 3,3 ГэВ/с. Дифференциальное сечение $d\sigma/dt$ этой реакции в области квадратов переданных 4-импульсов $t_{\text{мин}} \leq -t \leq 0,4/\text{ГэВ}/c^2$ сравнивается с дифференциальным сечением реакции на свободном протоне, измеренным при том же импульсе пионов. В дифференциальном сечении в области $-t \leq 0,1/\text{ГэВ}/c^2$ обнаружен минимум, который для углерода проявляется значительно сильнее, чем в реакции $\pi^- p \rightarrow \eta p$. Сравнением сечений двух реакций в рамках теории многократного дифракционного рассеяния определено эффективное число протонов в ядре углерода $Z_{\text{эфф.}}^C = 3,2 \pm 0,7$. Приводится зависимость $Z_{\text{эфф.}}^C(t)$ в диапазоне $-t$ от 0 до $0,4/\text{ГэВ}/c^2$.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований Дубна 1982

Arkhipov V.V. et al.

P1-82-887

Differential Cross Section of η Production on Carbon in π^- -Beam at 3.3 GeV/c

$\pi^- A_Z \rightarrow \eta A_{Z-1}$ differential cross section has been measured on carbon nuclei at 3.3 GeV/c beam momentum in range of $-t$ from t_{min} to $-0.4 (\text{GeV}/c)^2$. The results are compared with the previous ones, obtained during the measurements of the reaction $\pi^- p \rightarrow \eta p$ with liquid-hydrogen target. In the differential cross section for the reaction on carbon a minimum in the forward direction, much deeper than for hydrogen was observed. In the framework of incoherent particle production theory, the measured effective number of protons in carbon nuclei is $Z_{\text{эфф.}}^C = 3.2 \pm 0.7$. The experimentally determined $Z_{\text{эфф.}}^C(t)$ -dependence for $0 < -t < 0.4 (\text{GeV}/c)^2$ is presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute

Перевод О.С.Виноградовой.