



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

4380/83

22/8-83

P1-83-386

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

ИССЛЕДОВАНИЕ
РЕАКЦИИ РОЖДЕНИЯ η -МЕЗОНОВ
НА ЯДРАХ АЛЮМИНИЯ И МЕДИ
 π^- -МЕЗОНАМИ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 3,3 ГэВ/с

Направлено в журнал
"Ядерная физика"

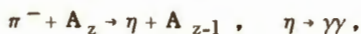
* Институт ядерных проблем, Свερк, ПНР.

1983

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы проявляется большой интерес к исследованиям процессов рождения резонансов на ядрах, которые прежде всего являются уникальным источником информации о взаимодействии короткоживущих частиц-резонансов с внутриядерными нуклонами.

В настоящей работе представлены результаты измерения сечений реакции



/1/



при импульсе π^- -мезонов 3,3 ГэВ/с в диапазоне переданных 4-импульсов $-t_{\text{мин}} \leq -t \leq 0,4$ (ГэВ/с)² ($-t_{\text{мин}} = 0,002$ (ГэВ/с)²), являющиеся продолжением выполненных нами ранее исследований реакции /1/ на ядрах углерода^{/1/}.

Реакция /1/ рождения η -мезонов на ядрах С, Al и Cu изучалась и при больших энергиях^{/2-4/}, однако в области порядка нескольких ГэВ экспериментальные данные практически отсутствуют.

Эксперимент выполнен с помощью 90-канального черенковского масс-спектрометра /установка "Фотон"^{/5/} на пучке π^- -мезонов синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Ранее на этой установке при импульсе пионов 3,3 ГэВ/с были проведены измерения дифференциальных сечений реакции



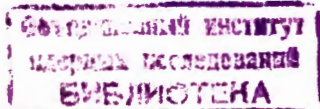
/2/

с жидководородной мишенью /результаты опубликованы в работах^{/6,7/}/. Это позволило провести прямое сравнение сечений реакции /1/ и /2/ методом, свободным от влияния многих систематических погрешностей.

В результате сравнения сечений рождения η -мезонов на ядрах С, Al и Cu, а также Хе^{/8/} с сечением рождения на свободных протонах на основе теории многократного дифракционного рассеяния^{/9-12/} в работе определено сечение взаимодействия η -мезонов с нуклоном при энергии ~3 ГэВ.

2. ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Схема и описание эксперимента, а также процедура обработки данных приведены в работе^{/1/}. Эксперимент выполнен в геометрии,



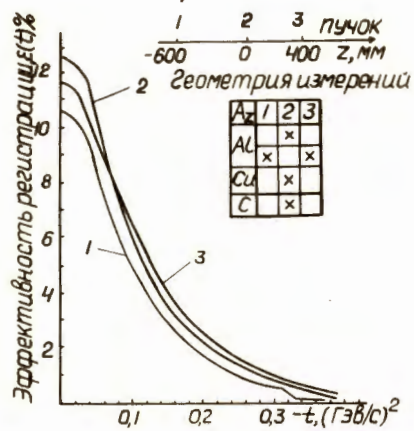


Рис.1. Зависимость эффективности регистрации событий реакции /1/ от $-t$ для трех положений мишени на пучке. Кривые получены путем моделирования.

в которой проводились исследования реакции /2/ на жидководородной мишени. В методических целях часть /-1/3/ экспериментального материала на ядрах Al получена с использованием одной мишени /Al - пластина толщиной 8,1 г/см² или 0,34 рад.ед., расположенная

в центре системы координат установки/, а другая /-2/3/ - с использованием двух мишеней, разнесенных по направлению пучка на расстояние 1 м /см. рис.1/.

Анализ результатов геометрической реконструкции событий, зарегистрированных в эксперименте с двумя мишенями, показал высокую степень надежности разделения событий по координатам точки взаимодействия частиц в первой и второй мишенях. Геометрическая и энергетическая реконструкция событий^{/13/}, а также моделирование^{/14/} осуществлялись отдельно для событий, относящихся к каждому из трех положений мишеней.

На этапе окончательного отбора $\gamma\gamma$ -событий из реакции /1/ вводились ограничения по кинематическим параметрам:

$$400 \text{ МэВ} \leq E_{\gamma 1} (E_{\gamma 2}) \leq 2800 \text{ МэВ}, \quad 17^\circ \leq \theta_{\gamma\gamma} \leq 26^\circ,$$

$$3000 \text{ МэВ} \leq (E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2}) \leq 3500 \text{ МэВ}, \quad 600 \text{ МэВ} \leq M_n \leq 1100 \text{ МэВ},$$

$$E_{\gamma}^M / E_{\gamma}^b \geq 0,2, \quad 440 \text{ МэВ} \leq M_{\gamma\gamma} \leq 640 \text{ МэВ},$$

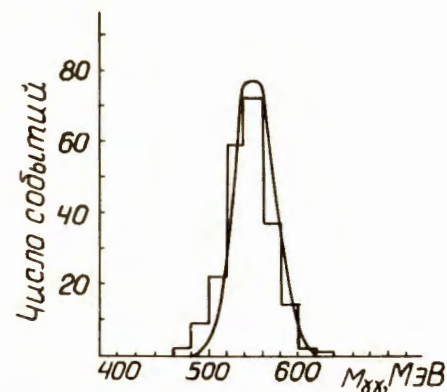
где $E_{\gamma 1}(E_{\gamma 2})$ - значения энергий γ -квантов, $(E_{\gamma 1} + E_{\gamma 2})$ - суммарная энергия двух γ -квантов, $E_{\gamma}^M / E_{\gamma}^b$ - отношение меньшего из двух значений энергий γ -квантов к большему, $\theta_{\gamma\gamma}$ - угол разлета γ -квантов в л.с.к., M_n - недостающая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

В результате обработки было идентифицировано 218 событий реакции /1/ рождения η -мезона на ядрах Al и 66 событий - на ядрах Cu.

Распределение событий по эффективной массе двух γ -квантов из реакции /1/ на Al-мишени приведено на рис.2, здесь же представлена кривая, полученная путем моделирования и нормированная на полное число событий в экспериментальной гистограмме.

Для вычисления дифференциальных сечений методом Монте-Карло определялись t -зависимости эффективности регистрации событий

Рис.2. Распределение по эффективной массе двух γ -квантов в реакции $\pi^- A_z \rightarrow \eta A_{z-1}, \eta \rightarrow \gamma\gamma$ для ядер алюминия. Сплошная кривая получена путем моделирования методом Монте-Карло и нормирована на полное число событий в гистограмме.



реакции /1/ $\epsilon(t)$ в каждой геометрии, соответствующей определенному положению мишени на пучке частиц /рис.1/. Зависимость $\epsilon(t)$ для Cu-мишени совпадает с аналогичной зависимостью для Al-мишени, установленной в точке $z=0$ /кривая 2 на рис.1/, то есть в основной геометрии эксперимента.

Абсолютные значения дифференциальных сечений реакции /1/ на ядрах $d\sigma/dt$ получены нормировкой на соответствующие значения $d\sigma/dt$ реакции /2/ на водороде^{/7/}. При определении фактора нормировки были учтены различия в условиях измерений на водородной, медной и алюминиевой мишенях. К основным из них относятся: эффективность регистрации событий по t , геометрические размеры, тип и место расположения мишени, вероятность конверсии γ -квантов в мишени, количество пионов, прошедших через мишени.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

3.1. Дифференциальные сечения $d\sigma/dt$

Значения дифференциальных сечений $d\sigma/dt$ реакции рождения η -мезонов /1/ на ядрах алюминия и меди 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.1а,б, здесь же указаны их статистические ошибки. Выбранные интервалы по t для данных, относящихся к реакции на алюминии, имеют величину, близкую к разрешающей способности аппаратуры. Значения $d\sigma/dt$ для реакции /1/ на меди из-за малости статистики усреднялись для больших интервалов по t . Ширина этих интервалов указана на рис.3 и в табл.1б.

Экспериментальные данные параметризовались функцией $d\sigma/dt = A(1 - g\alpha)e^{c t}$. Величины параметров A и g были вычислены методом наименьших квадратов и приведены в табл.2. В расчетах было использовано значение параметра $c = 5,6$ (ГэВ/с)⁻², измеренное в работе^{/7/}. Полученные в результате параметризации зависимости

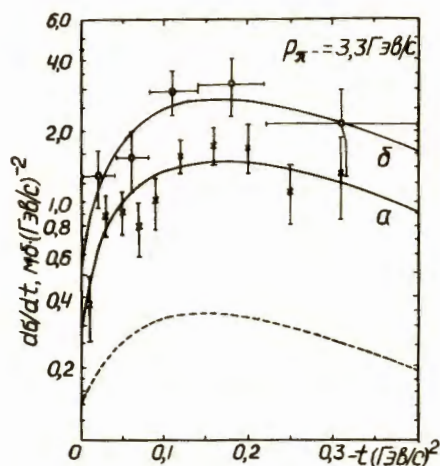


Рис.3. Дифференциальные сечения $d\sigma/dt$ реакций $\pi^-A_z \rightarrow \eta A_{z-1}$ на ядрах алюминия (x) и меди (□) при импульсе пионов 3,3 ГэВ/с. Сплошные кривые - результат параметризации экспериментальных данных выражением $d\sigma/dt = A(1 - gct)e^{ct}$ для $A_z \equiv Al$ /кривая а/ и $A_z \equiv Cu$ /кривая б/. Штриховая кривая - то же самое для реакции $\pi^-p \rightarrow \eta p$ /7/.

Таблица 1а

Дифференциальные сечения $d\sigma/dt$ реакции $\pi^-A_z \rightarrow \eta A_{z-1}$ на ядрах алюминия при импульсе $P_{\pi^-} = 3,3$ ГэВ/с

$\Delta - t$ (ГэВ/с) ²	$-\bar{t}$ (ГэВ/с) ²	$d\sigma/dt$ мб · (ГэВ/с) ⁻²
0 - 0,02	0,01	0,38 ± 0,12
0,02 - 0,04	0,03	0,90 ± 0,18
0,04 - 0,06	0,05	0,93 ± 0,20
0,06 - 0,08	0,07	0,79 ± 0,21
0,08 - 0,10	0,09	1,02 ± 0,25
0,10 - 0,14	0,12	1,58 ± 0,26
0,14 - 0,18	0,16	1,75 ± 0,34
0,18 - 0,22	0,20	1,73 ± 0,41
0,22 - 0,28	0,25	1,12 ± 0,35
0,28 - 0,34	0,31	1,34 ± 0,49

Таблица 1б
Дифференциальные сечения $d\sigma/dt$ реакции $\pi^-A_z \rightarrow \eta A_{z-1}$ на ядрах меди при импульсе $P_{\pi^-} = 3,3$ ГэВ/с

$\Delta - t$ (ГэВ/с) ²	$-\bar{t}$ (ГэВ/с) ²	$d\sigma/dt$ мб · (ГэВ/с) ⁻²
0 - 0,04	0,02	1,32 ± 0,40
0,04 - 0,08	0,06	1,56 ± 0,45
0,08 - 0,14	0,11	2,99 ± 0,66
0,14 - 0,22	0,18	3,20 ± 0,90
0,22 - 0,40	0,31	2,19 ± 0,90

Таблица 2

A_z	$\frac{A}{\text{мб}/(\text{ГэВ}/\text{с})^2}$	g
Al	0,20 ± 0,01	18,8 ± 1,3
Cu	0,50 ± 0,06	14,1 ± 2,1

$d\sigma/dt$ от $-t$ для $A_z \equiv Al$ и Cu приведены на рис.3 в виде сплошных кривых /соответственно "а" и "б"/. На этом же рисунке приведено дифференциальное сечение $d\sigma/dt$ реакции /2/, измеренное на водороде /7/ /штриховая кривая/. Сравнение кривых "а" и "б" со штриховой кривой показывает, что при $t \rightarrow 0$ минимум в дифференциальных сечениях $d\sigma/dt$ на ядрах Al и Cu выражен сильнее, чем на ядрах водорода. Аналогичное поведение $d\sigma/dt$ на ядрах углерода наблюдалось при 3,3 ГэВ/с^{1/} и 40 ГэВ/с^{15/}. Однако следует заметить, что из-за малой статистики событий, зарегистрированных на медной мишени, вывод о поведении $d\sigma/dt$ на ядре Cu носит в значительной степени качественный характер.

3.2. Экспериментальное определение $Z_{\text{эфф}}$.

В рамках теории многократного дифракционного рассеяния, развитой в работах^{9-12/}, дифференциальное сечение реакции типа /1/ в некотором приближении можно описать формулой

$$(d\sigma/dt)_A = (d\sigma/dt)_H \cdot Z_{\text{эфф}}(A, \sigma_1, \sigma_2), \quad /3/$$

где $(d\sigma/dt)_A$ - 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 ядра-мишени.

Эффективное число протонов в ядре-мишени $Z_{эфф}$ определяется экспериментально путем сравнения сечений реакций /1/ и /2/, проинтегрированных в заданном диапазоне переданного 4-импульса $|t|$. В соответствии с результатами анализа зависимости $Z_{эфф}$ от $-t$ в работе /1/ нами были выбраны следующие пределы интегрирования сечений: $0,1 \leq -t \leq 0,4$ (ГэВ/с)², для которых экспериментально подтверждается предположение $Z_{эфф} = Z_{эфф}(t) = const$.

Значения $Z_{эфф}$ для ядер алюминия и меди, вычисленные в том же интервале $-t$, равны

$$Z_{эфф}^{Al} = \sigma^{Al} (0,1 \leq -t \leq 0,4) / \sigma^H (0,1 \leq -t \leq 0,4) = 4,4 \pm 0,5, \quad /4/$$

$$Z_{эфф}^{Cu} = \sigma^{Cu} (0,1 \leq -t \leq 0,4) / \sigma^H (0,1 \leq -t \leq 0,4) = 8,2 \pm 2,2. \quad /5/$$

Для сравнения в табл.3 приведены величины $Z_{эфф}$ для Al и Cu , полученные в экспериментах при более высоких энергиях /2-4/. Зависимость эффективного числа нуклонов в ядре-мишени $N_{эфф}$ от A , σ_1 и σ_2 была впервые рассчитана авторами работы /9/ для нескольких ядер в диапазоне $20 \leq A \leq 208$.

Таблица 3

P_{II}^- ГэВ/с	3,3	7,8	40,0	48,0
$\frac{-t}{\text{ГэВ/с}^2}$	$0,1 \pm 0,4$	$0,0 \pm 0,75$	$0,0 \pm 0,5$	$0,0 \pm 2,0$
$Z_{эфф}^{Al}$	$4,4 \pm 0,5$	$4,7 \pm 0,7$	$4,6 \pm 1,4$	$4,7 \pm 0,7$
$Z_{эфф}^{Cu}$	$8,2 \pm 2,2$	$5,5 \pm 0,9$	$8,9 \pm 2,7$	$4,0 \pm 2,1$
ссылка	данная работа	/2/	/3/	/4/

Рис.4. Сравнение экспериментальных значений эффективного числа нуклонов $N_{эфф}$ в ядрах C , Al , Cu и Xe с результатами расчетов зависимости $N_{эфф} = N_{эфф}(A, \sigma_1, \sigma_2)$ по теории Глаубера. Сплошные кривые - теоретическая зависимость $N_{эфф} = N_{эфф}(A, \sigma_2)$ при $\sigma_1 = \sigma(\pi^-p) = 32$ мб, σ_2 - сечения взаимодействия η -мезонов с нуклонами. \times - экспериментальные значения для ядер C^{12} , Al и Cu - наши данные, \square - для ядра Xe - данные работы /8/.

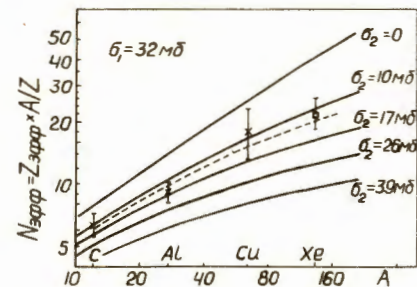


Рис.4 иллюстрирует зависимости $N_{эфф} = N_{эфф}(A, \sigma_1, \sigma_2)$, рассчитанные при заданной величине $\sigma_1 = \sigma(\pi^-p) = 32$ мб ($P_{II}^- = 3,22$ ГэВ/с)^{18/} для нескольких значений $\sigma_2 = \sigma(\eta - \text{нуклон})$ - сечений взаимодействия η -мезона с нуклоном. В области $A < 20$ кривые получены интерполированием в предположении, что $N_{эфф} = 1$ для $A = Z = 1$. Экспериментальные значения $N_{эфф}$ представлены на рис.4, определены как $N_{эфф} = Z_{эфф} \cdot A/Z$, где $Z_{эфф}$ - измеренные нами эффективные числа протонов для ядер C , Al и Cu при импульсе 3,3 ГэВ/с. Точка для ядра Xe соответствует значению $Z_{эфф}^{Xe} = 9,01 \pm 1,58$ и получена в эксперименте на ксеноновой пузырьковой камере при импульсе 3,2 ГэВ/с^{8/}.

Аппроксимация указанной совокупности экспериментальных данных функцией $N_{эфф}(A, \sigma_1, \sigma_2)$ /штриховая кривая на рис.4/ позволяет определить сечение взаимодействия η -мезона с нуклоном $\sigma_2 = \sigma(\eta - \text{нуклон}) = (13_{-5}^{+6})$ мб при энергии ≈ 3 ГэВ.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение дифференциальных сечений взаимодействия π^- -мезонов с импульсом 3,3 ГэВ/с со свободными протонами и протонами в ядрах Al и Cu в интервале $-t_{мин} \leq -t \leq 0,4$ (ГэВ/с)² показывает, что для реакции /1/ минимум в сечении рассеяния вперед / $-t \leq 0,1$ (ГэВ/с)² / выражен сильнее, чем для реакции /2/. Этот эффект может быть следствием проявления спин-изоспиновой зависимости амплитуды перезарядки и влияния принципа Паули в ядре /17/.

В результате сравнения сечений реакции /1/ и /2/, проинтегрированных в интервале $0,1 \leq -t \leq 0,4$ (ГэВ/с)², найдены значения эффективного числа протонов в ядре алюминия и меди: $Z_{эфф}^{Al} = 4,4 \pm 0,5$; $Z_{эфф}^{Cu} = 8,2 \pm 2,2$. В рамках глауберовского подхода к теории рождения частиц на ядрах с использованием измеренных в экспериментах величин $Z_{эфф}$ для ядер C , Al , Cu , Xe и результатов теоретических расчетов Кольбига и Марголиса /9/ полу-

цена оценка сечения взаимодействия η -мезонов с нуклонами:

$$\sigma(\eta N) = (13_{-5}^{+6}) \text{ мб при импульсе } \sim 3 \text{ ГэВ/с.}$$

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов В.В. и др. ОИЯИ, P1-82-887, Дубна, 1982.
2. Guisan O. et al. Nucl.Phys., 1971, B32, p.681.
3. Болотов В.Н. и др. ЯФ, 1974, 20, с.949.
4. Апокин В.Д. и др. ЯФ, 1982, 35, с.382.
5. Аверичев С.А. и др. ПТЭ, 1979, № 4, с.57.
6. Аствацатуров Р.Г. и др. ЯФ, 1978, 27, с.401.
7. Arkhipov V.V. et al. JINR, E1-11596, Dubna, 1978.
8. Бармин В.В. и др. Препринт ИТЭФ, № 22, М., 1977.
9. Kolbig K.S., Margolis B. Nucl.Phys., 1968, B6, p.82.
10. Глаубер Р. УФН, 1971, 103, с.641.
11. Геворкян С.Р., Тарасов А.В. ОИЯИ, P2-5752, Дубна, 1971.
12. Геворкян С.Р. и др. ОИЯИ, P2-6581, Дубна, 1972.
13. Мелкумов Г.Л., Хачатурян М.Н. ОИЯИ, 10-8170, Дубна, 1974.
14. Мелкумов Г.Л., Хачатурян М.Н. ОИЯИ, 10-7960, Дубна, 1974.
15. Апокин В.Д. и др. Препринт ИФВЭ, № 82-48, Серпухов, 1982.
16. Citron A. et al. Phys.Rev., 1966, 144, p.1101.
17. Коротких В.Л. Рождение резонансов на ядрах пионами высоких энергий. МГУ, М., 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 июня 1983 года.

Архипов В.В. и др.

P1-83-386

Исследование реакции рождения η -мезонов на ядрах алюминия и меди π^- -мезонами при импульсе 3,3 ГэВ/с

Представлены результаты экспериментального исследования реакций рождения η -мезонов на ядрах алюминия и меди пионами при импульсе 3,3 ГэВ/с. Полученные значения дифференциальных сечений $d\sigma/dt$ реакций в интервале переданных импульсов $-t_{\text{мин}} \leq -t \leq 0,4$ (ГэВ/с)² сравниваются с результатами, полученными ранее для реакции на свободном протоне. Определены значения эффективного числа протонов в ядре алюминия и меди. В рамках глауберовского подхода к теории рождения частиц на ядрах по экспериментальным значениям $Z_{\text{эфф}}$ для ядер C, Al, Cu, Xe получена оценка сечения σ (η -нуклон) при энергии ~ 3 ГэВ.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Arkhipov V.V. et al.

P1-83-386

Study of η Production Reaction on Aluminium and Copper Nuclei in a π^- -Beam at 3.3 GeV/c

The $\pi^- A_z \rightarrow \eta A_{z-1}, \eta \rightarrow \gamma\gamma$ reaction on Al and Cu nuclei at a 3.3 GeV/c beam momentum has been studied over a range of t from t_{min} to -0.4 (GeV/c)². The results are compared with previous ones obtained during measurements of the reaction $\pi^- p \rightarrow \eta n$ with liquid-hydrogen target. In the differential cross section for the reaction on nuclear targets, a minimum in the forward direction at $-t \leq 0.1$ (GeV/c)² is deeper than for hydrogen. In the framework of incoherent particle production theory, the measured effective numbers of protons in aluminium and copper nuclei are $Z_{\text{эфф}}^{\text{Al}} = 4.4 \pm 0.5$; $Z_{\text{эфф}}^{\text{Cu}} = 8.2 \pm 2.2$. Our results, together with other ones obtained from measurements on carbon and xenon nuclei, allows a determination of the η -nucleon cross section $\sigma = (13_{-5}^{+6})$ mb at ~ 3 GeV.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.