

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-85-228

В.В.Архипов, П.Ж.Асланян,¹ Р.Г.Аствацатуров,
И.Иоан,² Е.Кнапик, С.Н.Пляшкевич, М.Н.Хачатурян,
А.Г.Худавердян,¹ А.С.Чвыров

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ СЕЧЕНИЕ
РЕАКЦИИ $\pi^- p \rightarrow \eta^0 \Delta^0$ (1232)
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 3,3 ГэВ/с

Направлено в журнал "Ядерная физика"

¹ Ереванский государственный университет

² Институт атомной физики, Бухарест

1985

В настоящей работе представлены первые и пока единственные результаты по измерению полного и дифференциального сечений реакции:

$$\pi^- p \rightarrow \eta^0 \Delta^0 (1232) \quad /1/$$

при импульсе 3,3 ГэВ/с. При энергиях свыше 2 ГэВ процесс /1/ представляет с точки зрения теории Редже особый интерес, т.к. правила отбора допускают в t-канале этой реакции обмен с квантовыми числами только A_2 -мезона. Это позволяет проверить механизм A_2 -обмена, полученный в процессе:

$$\pi^- p \rightarrow \eta^0 p. \quad /2/$$

В ранее опубликованных работах¹⁻³ с помощью жидководородных пузырьковых камер исследовалась реакция:

$$\pi^+ p \rightarrow \eta^0 \Delta^{++} (1232), \quad /3/$$

однако статистика событий в указанных исследованиях, как правило, небольшая.

Эксперимент проводился на протонном синхротроне Объединенного института ядерных исследований на энергию 10 ГэВ. В эксперименте η^0 -мезоны генерировались в жидководородной мишени длиной 80 см и регистрировались с помощью 90-канального черенковского масс-спектрометра Лаборатории высоких энергий по распадам $\eta^0 \rightarrow \gamma\gamma$.

Схема эксперимента приводится на рис.1. Расстояние между центром мишени и гамма-спектрометрами /по нормали к поверхности спектрометров/ равно 375 см. Угол между двумя плечами спектрометра равен 23° .

Масс-спектрометр включает пучковые пропорциональные камеры, сцинтилляционные годоскопические счетчики, проволочные камеры для измерения направления γ -квантов и 90 черенковских гамма-спектрометров из свинцового стекла для измерения энергии распадающих γ -квантов⁴.

Пучок π^- -мезонов с $\Delta P/P = +1\%$ и длительностью растяжки 400 нс фокусируется на жидководородную мишень длиной 80 см. Частицы пучка регистрируются телескопом сцинтилляционных счетчиков S1-S3. Направление пионов измеряется с помощью шести пропорциональных камер (PWC). Для исключения срабатывания установки от рассеянных частиц /гало пучка/ используются два сцинтилляционных счетчика S1 и S2, образующих отверстие размером 5×5 см². Счетчики работают в режиме антисовпадений

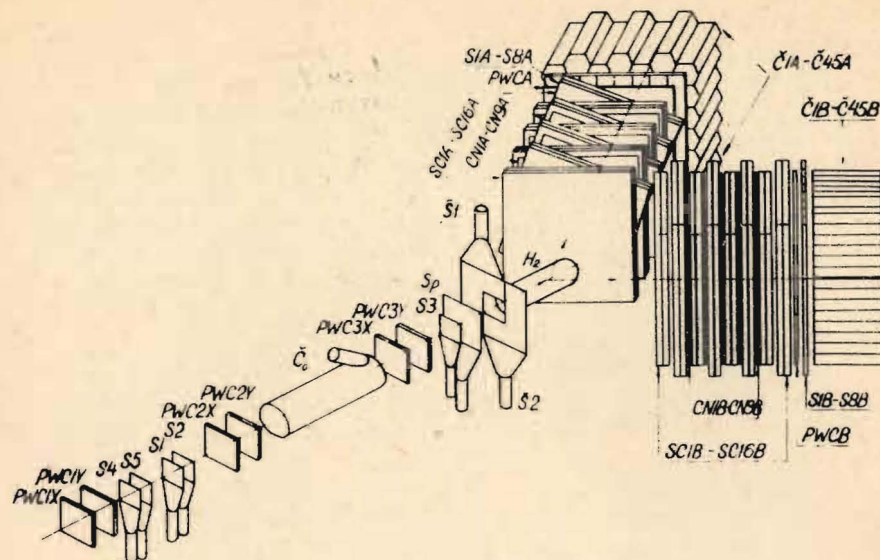


Рис.1. Схема эксперимента. PWC - пропорциональные камеры, S - сцинтилляционные счетчики, A - сцинтилляционные счетчики антисовпадений, \check{C}_0 - газовый черенковский счетчик, H₂ - жидководородная мишень, SCA и SCB - проволочные искровые камеры, SA и SB - годоскопические сцинтилляционные счетчики, CA и CB - годоскоп черенковских гамма-спектрометров из свинцового стекла, CN - медные конверторы.

Для определения направления γ -квантов, образующихся в результате распада $\eta^0 \rightarrow 2\gamma$, применяются 32 проволочные двухкоординатные камеры (SC) с магнестрикционным съемом информации размерами 90×90 см². Камеры собираются в группу по четыре, из которых две камеры располагаются горизонтально, а две другие под углом 17° . Камеры разделены на две секции по 16 камер в каждой /SCA и SCB/. Между группами из четырех камер размещены латунные конверторы толщиной 0,4 рад.ед. Суммарная толщина конверторов составляет 1,2 рад.ед. Направление конверсионных электронов измеряется группой из четырех камер, расположенной непосредственно за конвертором. Первая /по пучку/ группа камер используется для идентификации заряженных частиц. Два идентичных сцинтилляционных годоскопа (SA, SB), каждый из которых включает 10 элементов, располагаются между проволочными камерами и черенковскими гамма-спектрометрами и позволяют измерять координаты конверсионных пар и увеличить эффективность триггера.

За годоскопическими счетчиками помещаются черенковские гамма-спектрометры из свинцового стекла (CA, CB). Общее количество спект-

рометров - 90. Спектрометры работают независимо и группируются по 45 в каждом из двух направлений /А и В/. Радиатор спектрометра имеет гексагональную форму с диаметром вписанной окружности 17,5 см. Длина радиатора 35 см /14 рад.ед/. Контроль усиления спектрометрической аппаратуры осуществляется с помощью световых вспышек в кристалле NaJ от α -частиц радиоизотопа ^{241}Am .

Абсолютная калибровка гамма-спектрометров производится на пучке моноэнергетических электронов. Установка работает в линию с ЭВМ и полностью автоматизирована. В течение эксперимента ЭВМ осуществляет прием информации с детекторов, контроль и предварительный отбор информации, накопление информации, контроль и управление работой аппаратуры. Запуск установки производится, если имеет место совпадение /антисовпадение для счетчиков А1 и А2 /: S1S2S3S1S2SA SB CA CB при условии, что энергия частиц в спектрометрах левого (А) и правого (В) направлений /соответственно E_{γ_1} и E_{γ_2} / и их сумма ($E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2}$) превышают некоторый порог, определяемый кинематикой исследуемого процесса и геометрией опыта.

В эксперименте были выбраны пороги: $E_{\gamma_1} = E_{\gamma_2} \geq 300$ МэВ и $E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2} \geq 2500$ МэВ.

Экспериментальные события обрабатывались по программам геометрической и энергетической реконструкции¹⁵. При анализе экспериментальной информации $\gamma\gamma$ -события отбирались по следующим критериям.

1. Отсутствию треков заряженных частиц в камерах SC_A^{1-4} и SC_B^{1-4} .
2. Наличию треков заряженных частиц /или лавины/ после i -го / $i = 1, 2, 3$ / конвертора в камерах SC_A^{5-16} и SC_B^{5-16} .
3. Наличию сигналов в годоскопических сцинтилляционных счетчиках SA и SB, соответствующих направлению треков заряженных частиц в камерах SC_A^{5-16} и SC_B^{5-16} .
4. Наличию сигналов в гамма-спектрометрах CA и CB, соответствующих направлению треков заряженных частиц в камерах SC_A^{5-16} и SC_B^{5-16} и годоскопических сцинтилляционных счетчиках SA и SB, удовлетворяющих условиям /критерий А /:

$$a/ 300 \text{ МэВ} \leq E_{\gamma_1}(E_{\gamma_2}) \leq 2800 \text{ МэВ};$$

$$б/ 2800 \text{ МэВ} \leq (E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2}) \leq 3500 \text{ МэВ};$$

в/ $E_{\gamma_1}^M / E_{\gamma_2}^B > 0,2$, где $E_{\gamma_1}^M$ и $E_{\gamma_2}^B$ - соответственно меньшая и большая энергии двух γ -квантов.

На рис.2 приведены экспериментальные распределения по энергии ($E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2}$) и эффективной массе $M_{\gamma\gamma}$ для 4350 $\gamma\gamma$ -событий, полученных после применения критерия А.

Рис.3 иллюстрирует полученные методом Монте-Карло распределения по энергии для η^0 -мезонов в реакциях /1/ и /2/¹⁶.

Как видно из рис.3, максимум распределения для реакции /1/ равен 2920 МэВ, в то время как максимум для реакции /2/ имеет значение, равное 3220 МэВ. Указанное отличие в энергетических

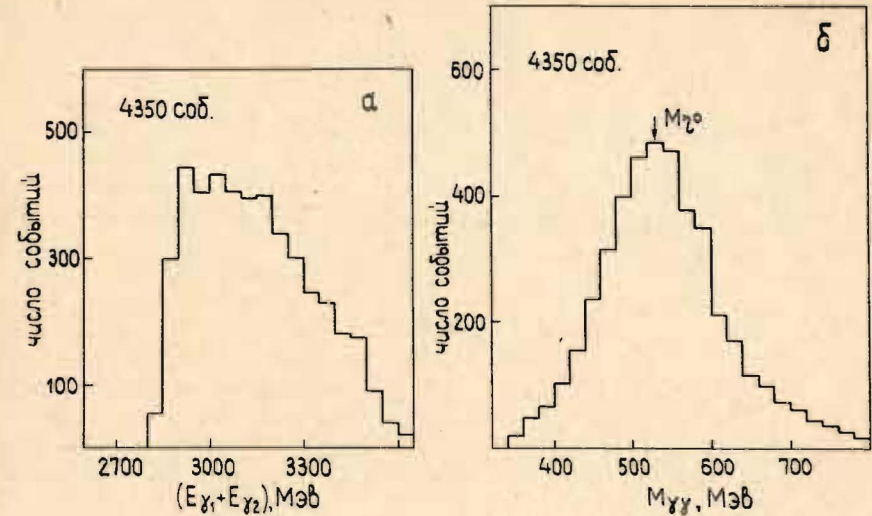


Рис.2. Экспериментальные распределения $\gamma\gamma$ -событий после применения критерия отбора $E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2} \geq 2800$ МэВ. а/ Распределение суммы энергий γ -квантов ($E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2}$), б/ распределение по эффективной массе $\gamma\gamma$ -событий ($M_{\gamma\gamma}$).

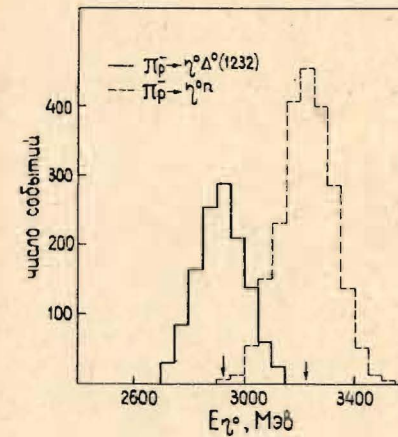


Рис.3. Моделированное методом Монте-Карло распределение суммы энергий γ -квантов ($E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2}$) для процессов $\pi^- p \rightarrow \eta^0 p$, $\pi^- p \rightarrow \eta^0 \Delta^+(1232)$, $\eta^0 \rightarrow 2\gamma$.

спектрах для двух процессов, связанное с кинематикой этих реакций, открывает принципиальную возможность их разделения по энергии.

На втором этапе анализа для отбора событий /1/ вычисляется эффективная масса (M_i) $\gamma\gamma$ -событий по формуле:

$$M_i = \gamma_L (E_\pi + m_p) - P_\pi (\gamma_L^2 - 1)^{1/2} \cos \Theta_{\pi\eta^\circ} - \{ [P_\pi (\gamma_L^2 - 1)^{1/2} \times \\ \times \cos \Theta_{\pi\eta^\circ} - \gamma_L \cdot (E_\pi + m_p)] - 2E_\pi m_p - m_p^2 - m_\pi^2 + m_i^2 \}^{1/2} \quad /4/$$

где M_i находится в функциональной зависимости от массы частицы отдачи $m_i = m_n$ или m_{Δ^0} . Разделение реакций /1/ и /2/ осуществляется с помощью χ^2 -критерия /7/: $\gamma\gamma$ -событие идентифицируется как η° -мезон, образовавшийся в реакции /1/, если выполняются условия /критерий Б/:

$$a/ \chi_{M_n}^2 > \chi_{M_{\Delta^0}}^2.$$

$$b/ E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2} \leq 3100 \text{ МэВ, где } \chi_{M_i}^2 = (M_i - 548,8)^2 / (\Delta m_{\text{эксп.}})^2.$$

Входящие в формулу /4/ величины имеют следующие значения:

$\Delta m_{\text{эксп.}}$ - экспериментальная ошибка измерения массы, m_π , P_π , E_π - соответственно масса, импульс и полная энергия π^- -мезона, m_p - масса протона, $\Theta_{\pi\eta^\circ}$ - угол между направлениями π^- -мезона и η° -мезона в л.с.к.,

$$\gamma_L = [(E_{\gamma_1} / E_{\gamma_2})^2 + (E_{\gamma_2} / E_{\gamma_1})^2] [2(1 - \cos \Theta_{\gamma\gamma})]^{-1/2}$$

$\Theta_{\gamma\gamma}$ - угол между направлениями вылета γ_1 и γ_2 в л.с.к.

При вычислении дифференциального сечения $\gamma\gamma$ -события отбирались в следующих интервалах /критерий В/:

$$t_{\min} \leq -t \leq 0,3 \text{ (ГэВ/с)}^2.$$

$$19^\circ \leq \Theta_{\gamma\gamma} \leq 29^\circ.$$

Экспериментальное распределение $\gamma\gamma$ -событий по эффективной массе после применения указанных выше критериев /А,Б,В/ /958 событий/ иллюстрирует рис.4.

Применение критериев отбора А-В приводит к потере около 30% событий реакции /1/.

Для оценки величины фона и его влияния на дифференциальное сечение были рассмотрены следующие процессы:

$$\pi^- p \rightarrow \eta^\circ n, \quad \eta^\circ \rightarrow 2\gamma \quad /2/$$

$$\pi^- p \rightarrow \omega^\circ n, \quad \omega^\circ \rightarrow \pi^0 \gamma \rightarrow 2\gamma \quad /5/$$

$$\pi^- p \rightarrow 2\pi^0 n, \quad 2\pi^0 \rightarrow 2\gamma \quad /6/$$

$$\pi^- p \rightarrow 3\pi^0 n, \quad 3\pi^0 \rightarrow 2\gamma. \quad /7/$$

Анализ реакций /2,5,6,7/ показал, что после применения критериев А-В суммарный вклад всех фоновых процессов от общего числа событий не превышает 17%. Табл.1 иллюстрирует эволюцию относительного вклада процессов /1/, /2/, /5-7/ после примене-

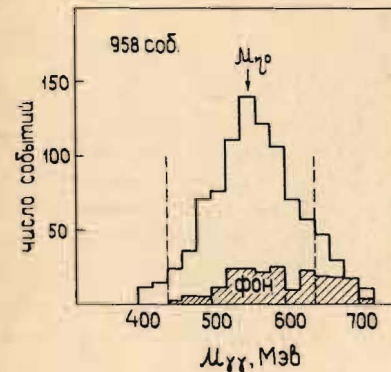


Рис.4. Экспериментальное распределение /линия/ по эффективной массе $\gamma\gamma$ -событий после отбора по критериям $t_{\min} \leq -t \leq 0,3 \text{ (ГэВ/с)}^2$; $19^\circ \leq \Theta_{\gamma\gamma} \leq 29^\circ$. Фоновые события /штрихованная гистограмма/ получены моделированием методом Монте-Карло. Вертикальные линии на гистограмме указывают области обрезания по эффективной массе.

Таблица 1

№ пп	Реакция	Критерия А	Критерий Б	Критерий В
		относительная доля в %		
1.	$\pi^- p \rightarrow \eta^\circ \Delta^0 (1232)$	29	69,0	83
2.	$\pi^- p \rightarrow \eta^\circ n$	51	2,3	2
3.	$\pi^- p \rightarrow \omega^\circ n$	13,2	20,0	10
4.	$\pi^- p \rightarrow 2\pi^0 n$	6,8	8,7	5
5.	$\pi^- p \rightarrow 3\pi^0 n$	0	0	0

ния каждого из трех критериев отбора. Сечения процессов /2/, /5/, /6/, /7/ взяты из работ /8/.

Влияние фоновых событий на зависимость дифференциального сечения от $-t$ незначительно.

Полученное в эксперименте дифференциальное сечение реакции /1/ в зависимости от $-t$ представлено в табл.2 и на рис.5.

Выбранные интервалы по $-t$, как правило, больше разрешающей способности аппаратуры. Указанные на рис.5 ошибки - статистические. Абсолютная нормировка сечения реакции /1/ производилась с помощью процесса /2/, который измерялся одновременно в том же эксперименте.

Экспериментальные данные параметризовались с помощью формулы $d\sigma/dt = A(1-gCt) \exp(Ct)$, где g - отношение вкладов амплитуд расщепления с переворотом и без переворота спина. В соответствии с этой параметризацией для величин A , g , C найдены значения: $A = 165,3 \pm 2,3 / \text{мкб} / (\text{ГэВ/с})^2$; $g = 1,37 \pm 0,2$; $C = 17,3 \pm 0,6 / (\text{ГэВ/с})^{-2}$.

Таблица 2

№ пп	Δt (ГэВ/с) ²	$d\sigma/dt$ мкб/(ГэВ/с) ²
1.	0,037±0,05	94±11
2.	0,05±0,07	133±10
3.	0,07±0,1	115±10
4.	0,1±0,13	103±9
5.	0,13±0,17	119±10
6.	0,17±0,22	107±10
7.	0,22±0,26	83±12
8.	0,26±0,30	68±12

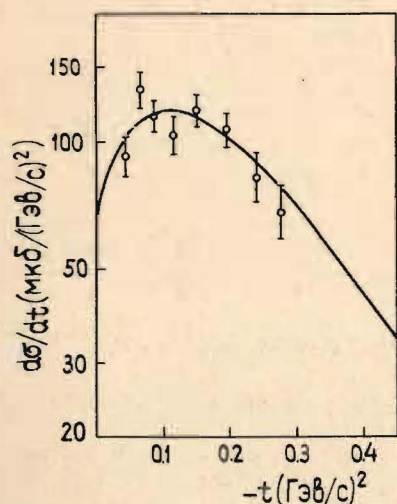


Рис.5. Дифференциальное сечение ($d\sigma/dt$) реакции $\pi^-p \rightarrow \eta^0 \Delta^0$ (1232) в зависимости от переданного 4-импульса ($-t$) при импульсе пучка 3,3 ГэВ/с.

В табл.3 сравниваются значения параметров для процессов /1/, /2/, /3/.

Из табл.3 видно, что параметр g , характеризующий отношение вкладов амплитуд рассеяния с переворотом и без переворота спина, наименьшее значение имеет для реакции /1/. Полное сечение /1/, полученное интегрированием диф-

ференциального сечения в интервале переданных импульсов от t_{\min} (ГэВ/с)² до 1,0 (ГэВ/с)², равно /43±10/ мкб, и в пределах экспериментальных ошибок согласуется с предсказанием, полученным из соотношений изотопической инвариантности для реакции /3/ при импульсе 3,3 ГэВ/с.

Как уже отмечалось, при достаточно высоких энергиях можно ожидать, что реакции /1/, /2/ и реакция $\pi^+p \rightarrow \eta^0 \Delta^{++}$ реализуются в t -канале обменом только A_2 -траекторией. Используя экспериментальные данные в интервале энергий 2,3 до 8,0 ГэВ/с, Гредер и Гидал нашли для $a_{\text{эфф}}$ ($\pi^+p \rightarrow \eta^0 \Delta^{++}$) = 0,87±0,03±1,75±0,13/t².

Таблица 3

Параметр	Реакция	A		
		g	C	
$\pi^-p \rightarrow \eta^0 \Delta^0$ (1232) $P_{\pi^-} = 3,3$ ГэВ/с		65,7±2,3	3,7±0,2	7,3±0,6
$\pi^-p \rightarrow \eta^0 n$ /9/ $P_{\pi^-} = 3,3$ ГэВ/с		138,9±9,0	3,5±0,5	5,6±0,2
$\pi^+p \rightarrow \eta^0 \Delta^{++}$ /1/ $P_{\pi^+} = 16,0$ ГэВ/с		16,0±1,5	7,0±0,2	8,1±0,6

Это значение для $a_{\text{эфф}}$ существенно отличается от $a_{\text{эфф}}$ для реакции $\pi^-p \rightarrow \eta^0 n$, которая также реализуется обменом A_2 -траекторией $a_{\text{эфф}} = 0,43±0,01±0,74±0,33/t^{10}$. В работе Р.Хонекера и др. /1/ $a_{\text{эфф}}$ было измерено для реакции $\pi^+p \rightarrow \eta^0 \Delta^{++}$ при импульсе 16 ГэВ/с на статистике /76±13/ событий. Для $a_{\text{эфф}}$ было найдено значение, равное $a_{\text{эфф}}(t) = 0,4±0,2±0,9±0,3/t$, что противоречит работе /2/.

Данные настоящей работы для $d\sigma/dt$ /около 1000 событий/ при импульсе 3,3 ГэВ/с вместе с результатами при импульсе 4,75 ГэВ/с, которые в настоящее время обрабатываются, позволят с большей точностью определить эффективную траекторию Редже для реакции $\pi^-p \rightarrow \eta^0 \Delta^0$, сравнить ее с данными для $\pi^-p \rightarrow \eta^0 n$ и $\pi^+p \rightarrow \eta^0 \Delta^{++}$ и оценить возможный вклад других обменных траекторий в реакцию образования η^0 -мезонов с изобарой.

В заключение авторы пользуются случаем, чтобы поблагодарить академика А.М.Балдина за поддержку и внимание к работе, В.И.Иванова, В.А.Крамаренко, В.И.Прохорова, Б.М.Старченко, А.И.Малахова, Г.Л.Мелкумова и В.В.Изыурова за помощь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Honeker R. et al. Nucl.Phys., 1977, B131, p.189.
2. Grether D.F. et al. Phys.Rev.Lett., 1971, vol.26, p.792.
3. Bloodworth I.J. et al. Nucl.Phys., 1974, B81, p.231.
4. Аверичев С.А. и др. ПТЭ, 1979, №4, с.57.
5. Говорун Н.Н. и др. В кн.: Совещание по программированию и математическим методам решения физических задач. ОИЯИ, Д10-7707, Дубна, 1973, с.453.

6. Мелкумов Г.Л., Хачатурян М.Н. ОИЯИ, 10-7960, Дубна, 1974.
7. Ioan I. et al. Central Institute of Physics. Bucharest, 1984. Progress in Heavy Ion Physics, 1982-83, p.90.
8. Будагов Ю.А. и др. ОИЯИ, P1-4993, Дубна, 1970; Apel W.D. et al. Phys.Lett., 1975, 55B, p.111.
9. Мелкумов Г.Л. ОИЯИ, 1-13014, Дубна, 1979;
Arkhipov V.V. et al. JINR, E1-11596, Dubna, 1979.
10. Shaevitz M.H. et al. Phys.Rev.Lett., 1976, 36, p.5.

Архипов В.В. и др.

P1-85-228

Дифференциальное сечение реакции $\pi^- p \rightarrow \eta^0 \Delta^0$ (1232) при импульсе 3,3 ГэВ/с

Измерено дифференциальное сечение реакции $\pi^- p \rightarrow \eta^0 \Delta^0$ (1232) в области переданных импульсов от t_{\min} до 0,3 (ГэВ/с)². В дифференциальном сечении обнаружен заметный минимум в переднем направлении, указывающий на существенную роль амплитуды с изменением спиральности. Экспериментальные данные фитировались с помощью формулы: $d\sigma/dt = A(1-gCt) e^{gCt}$, где g - отношение вкладов амплитуды рассеяния с переворотом и без переворота спина. Для величин A , g и C найдены следующие значения:

$$A = 165,7 \pm 2,3 \text{ мкб/ (ГэВ/с)}^2; \quad g = 13,7 \pm 0,2; \quad C = 7,3 \pm 0,6 \text{ (ГэВ/с)}^{-2}.$$

Полное сечение реакции $\pi^- p \rightarrow \eta^0 \Delta^0$ (1232) в пределах экспериментальных ошибок согласуется с предсказанием изотопической инвариантности.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод Л.Н.Барабаш

Arkhipov V.V. et al.

P1-85-228

Differential Cross Section of the Reaction $\pi^- p \rightarrow \eta^0 \Delta^0$ (1232) for a Momentum of 3.3 GeV/c

The differential cross section of the reaction $\pi^- p \rightarrow \eta^0 \Delta^0$ (1232) has been measured in the region of momentum transfers from t_{\min} to 0.3 (GeV/c)². A significant minimum observed in the forward direction in the differential cross section indicates a dominance of the helicity-flip amplitude. The experimental data were fitted by the formula $d\sigma/dt = A(1-gCt) e^{gCt}$, where g is the ratio of the spin-flip and spin-nonflip amplitudes. The following values were found for A , g and C :

$$A = (65.7 \pm 2.3) \text{ } \mu\text{b}(\text{GeV}/c)^2; \quad g = (3.7 \pm 0.2); \quad C = 7.3 \pm 0.6 \text{ (GeV}/c)^{-2}.$$

The total cross section for the reaction $\pi^- p \rightarrow \eta^0 \Delta^0$ (1232), within the experimental errors, agrees with the isotopic invariance prediction.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985

Рукопись поступила в издательский отдел
1 апреля 1985 года.