

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P1-87-271

В.В.Архипов, П.Ж.Асланян<sup>1</sup>, Р.Г.Аствацатуров,  
И.Иоан<sup>2</sup>, Е.Кнапик, В.А.Крамаренко,  
А.И.Малахов, Г.Л.Мелкумов, С.Н.Пляшкевич,  
Б.М.Старченко, М.Н.Хачатурян, А.Г.Худавердян<sup>1</sup>

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ СЕЧЕНИЕ  
РЕАКЦИИ  $\pi^- p \rightarrow \eta \Delta^0$  (1232)  
ПРИ ИМПУЛЬСАХ 3,3 И 4,75 ГэВ/с

Направлено в журнал "Ядерная физика"

<sup>1</sup> Ереванский государственный университет

<sup>2</sup> Институт атомной физики, Бухарест

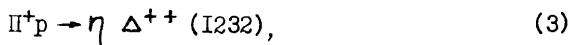
В настоящей работе представлены первые и пока единственные результаты по измерению дифференциальных сечений реакции



при импульсе 3,3 /1/ и 4,75 ГэВ/с. При энергиях свыше 2 ГэВ процесс (I) 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 сравнить механизм  $A_2$ -обмена реакции (I) с реакцией



В ранее опубликованных работах /2-5/ с помощью жидководородных пузырьковых камер исследовалась реакция



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

Эксперимент проводился в 1976-1977 гг. на протонном синхротроне Объединенного института ядерных исследований на энергию 10 ГэВ. В эксперименте  $\eta$ -мезоны генерировались в жидководородной мишени длиной 80 см и регистрировались с помощью 90-канального черенковского масс-спектрометра по распадам  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$  /6,7/.

Схема геометрии эксперимента, процедура обработки данных и результаты при импульсе 3,3 ГэВ/с приведены в работе /1/.

Экспериментальные события обрабатывались по программе геометрической и энергетической реконструкции /8/. На первом этапе анализа отбирались  $\gamma\gamma$ -события, удовлетворяющие условиям (критерий А):

- а)  $400 \text{ МэВ} \leq E_{\gamma_1} (E_{\gamma_2}) \leq 4200 \text{ МэВ}$ ,
- б)  $4100 \text{ МэВ} \leq E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2} \leq 5000 \text{ МэВ}$ , (4)
- в)  $E_{\gamma}^M/E_{\gamma}^B \geq 0,1$ , где  $E_{\gamma}^M$  и  $E_{\gamma}^B$  - соответственно

меньшая и большая энергии  $\gamma$ -квантов. На рис.1 приведены экспериментальные распределения по сумме энергии  $\gamma$ -квантов ( $E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2}$ ) и эффективной массе  $M_{\gamma\gamma}$  для 4630  $\gamma\gamma$ -событий, полученных после применения критерия А. Рис.2 иллюстрирует полученные моделированием методом Монте-Карло /9/ распределения по энергии  $\eta^0$ -мезонов в реакциях (1) и (2). Как видно из рис.2, распределение для реакции (1) имеет максимум при 4320 МэВ, в то время как максимум для реакции (2) равен 4620 МэВ. Указанное отличие в энергетических спектрах для двух процессов, связанное с кинематикой этих реакций, открывает принципиальную возможность их разделения по энергии /10/.

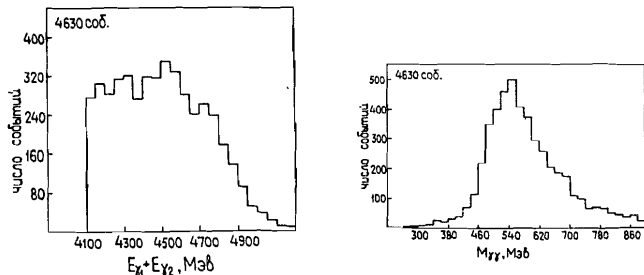


Рис. 1. Экспериментальные распределения  $\gamma\gamma$ -событий после применения критерия А.

- а) распределение суммы энергий  $\gamma\gamma$ -событий ( $E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2}$ ).
- б) распределение по эффективной массе  $\gamma\gamma$ -событий ( $M_{\gamma\gamma}$ ).

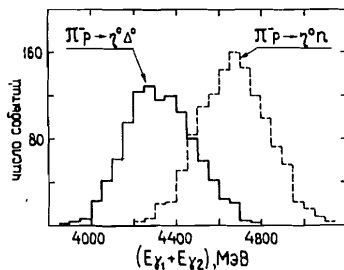


Рис. 2. Моделированные методом Монте-Карло распределения суммы энергий  $\gamma\gamma$ -событий ( $E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2}$ ) для процессов  $P^- \rightarrow \eta\eta$  (штрихованная гистограмма) и  $P^- \rightarrow \eta\Delta^0(I232)$  (сплошная гистограмма).

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

$$M_i = \gamma_L (E_{\pi} + m_p) - p_{\pi} (\gamma_L^2 - 1)^{1/2} \cos \theta_{\pi\eta} - \left\{ [p_{\pi} (\gamma_L^2 - 1)^{1/2} \cos \theta_{\pi\eta} - \gamma_L (E_{\pi} + m_p)]^2 - 2E_{\pi} m_p - m_p^2 - m_{\pi}^2 + m_i^2 \right\}^{1/2}, \quad (5)$$

где  $M_i$  находится в функциональной зависимости от массы частицы отдачи ( $m_i = m_{\eta}$  или  $m_{\Delta}$ ). Разделение реакций (1) и (2) осуществляется с помощью  $\chi^2$ -критерия /11/:  $\gamma\gamma$ -событие идентифицируется как  $\eta$ -мезон, образовавшийся в реакции (1), если выполняются условия (критерий Б)

$$а) \chi_{M_{\Delta}}^2 < \chi_{M_{\eta}}^2, \quad (6)$$

$$б) E_{\gamma_1} + E_{\gamma_2} \leq 4400 \text{ МэВ}, \quad (7)$$

где  $\chi^2 = (M_i - 548,8)^2 / (\Delta m_{\text{эксп}})^2$ .

Входящие в формулы (5-7) величины имеют следующий смысл:

$\Delta m_{\text{эксп}}$  - экспериментальная ошибка измерения массы,  $m_{\pi}$ ,  $p_{\pi}$ ,  $E_{\pi}$  - соответственно масса, импульс и полная энергия  $\pi^-$ -мезона,  $m_p$  - масса протона,  $\theta_{\pi\eta}$  - угол между направлениями  $\pi^-$ -мезона и  $\eta$ -мезона в л.с.к.,  $\gamma_L$  - лоренц-фактор

$$\gamma_L = \left[ (E_{\gamma_1}/E_{\gamma_2})^{1/2} + (E_{\gamma_2}/E_{\gamma_1})^{1/2} \right] [2(1 - \cos \theta_{\gamma\gamma})]^{-1/2}, \quad (8)$$

$\theta_{\gamma\gamma}$  - угол между направлениями вылета  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  в л.с.к.

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

$$-t_{\text{min}} \leq -t \leq 0,37 \text{ (ГэВ/с)}^2, \quad 1100 \leq m_{\Delta} \leq 1400 \text{ МэВ},$$

$$12^{\circ} \leq \theta_{\gamma\gamma} \leq 21^{\circ}, \quad 0 \leq \chi_{M_{\Delta}}^2 \leq 1. \quad (9)$$

Экспериментальное распределение  $\gamma\gamma$ -событий по эффективной массе после применения указанных выше критериев (А, Б и В) (1060 событий) иллюстрирует рис.3.

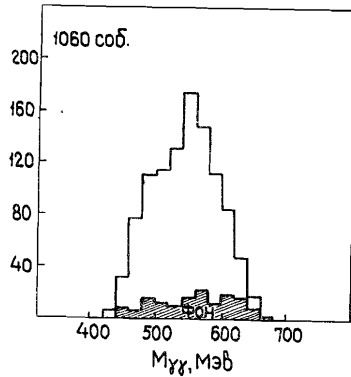


Рис. 3. Экспериментальное распределение по эффективной массе  $\gamma\gamma$ -событий после отбора по критериям  $t_{\min} \leq -t \leq 0,37 (\text{ГэВ}/c)^2$ ;  $1100 \leq m_{\Delta} \leq 1400$  МэВ;  $12^{\circ} \leq \theta_{3\gamma} \leq 21^{\circ}$ ;  $0 \leq \chi_{M_{\Delta}}^2 \leq 1$ . Фоновые события (штрихованная гистограмма) получены моделированием методом Монте-Карло.

Применение критериев отбора А-В приводит к потере около 24% событий реакции (I).

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



Указанные реакции моделировались методом Монте-Карло. После применения критериев А-В и нормировки на величины сечений вклад всех фоновых процессов от общего числа событий оказался менее 19%. Табл. I иллюстрирует эволюцию относительного вклада процессов (I), (2), (10, 11) после применения каждого из трех критериев отбора. Сечения процессов (2), (10), (11) взяты из работы /12/.

Ввиду малости фона влияние фоновых событий на зависимость дифференциального сечения от  $-t$  не учитывалось.

Таблица I.

| № пп | Реакция                                     | критерий А             | критерий Б | критерий В |
|------|---|------------------------|------------|------------|
|      |   | относительная доля в % |            |            |
| 1.   | $p\bar{p} \rightarrow \eta \Delta^0 (1232)$ | 35                     | 55         | 81         |
| 2.   | $p\bar{p} \rightarrow \eta n$               | 42                     | 18         | 6          |
| 3.   | $p\bar{p} \rightarrow \omega^0 n$           | 18                     | 23         | 11         |
| 4.   | $p\bar{p} \rightarrow 2\pi^0 n$             | 5                      | 4          | 2          |

Полученные в эксперименте дифференциальные сечения реакции (I) в зависимости от  $|t'| = |t| - |t_{\min}|$  при импульсе 4,75 ГэВ/с и 3,3 ГэВ/с /1/ представлены в таблице 2 и на рис.4.

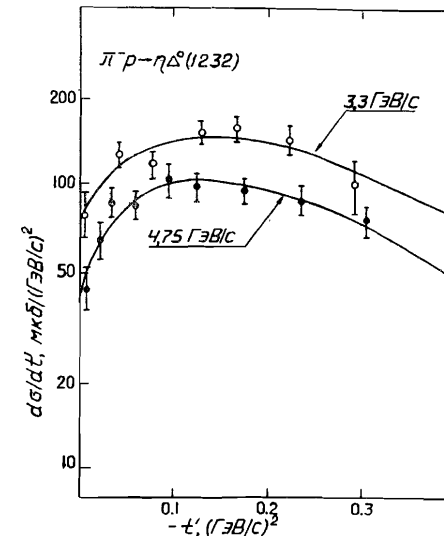


Рис. 4. Дифференциальные сечения  $d\sigma/dt'$  реакции  $p\bar{p} \rightarrow \eta \Delta^0 (1232)$  в зависимости от переданного 4-х импульса ( $-t'$ ) ( $\circ$  -  $P_{\text{Ц}} = 3,3$  ГэВ/с,  $\bullet$  -  $P_{\text{Ц}} = 4,75$  ГэВ/с).

Выбранные интервалы по  $-t'$ , как правило, больше разрешающей способности аппаратуры. Указанные на рис.4 ошибки - статистические. Абсолютная нормировка сечения реакции (I) производилась с помощью процесса /12/, который измерялся одновременно в том же эксперименте.

Таблица 2.

| № пп | $\Delta t'$<br>(ГэВ/с) <sup>2</sup> | $d\sigma/dt'$<br>мкб/(ГэВ/с) <sup>2</sup><br>4,75(ГэВ/с) | $\Delta t'$<br>(ГэВ/с) <sup>2</sup> | $d\sigma/dt'$<br>мкб/(ГэВ/с) <sup>2</sup><br>3,3(ГэВ/с) |
|------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---|
| 1.   | 0,000 - 0,015                       | 44 ± 8   | 0,000 - 0,013                       | 82 ± 12   |
| 2.   | 0,015 - 0,025                       | 65 ± 11  | 0,013 - 0,063                       | 123 ± 10  |
| 3.   | 0,025 - 0,045                       | 88 ± 10  | 0,063 - 0,093                       | 115 ± 12  |
| 4.   | 0,045 - 0,075                       | 85 ± 10  | 0,093 - 0,133                       | 150 ± 14  |
| 5.   | 0,075 - 0,105                       | 102 ± 10   | 0,133 - 0,193                       | 157 ± 16  |
| 6.   | 0,105 - 0,145                       | 98 ± 9   | 0,193 - 0,253                       | 140 ± 18  |
| 7.   | 0,145 - 0,205                       | 94 ± 9   | 0,253 - 0,333                       | 100 ± 19  |
| 8.   | 0,205 - 0,265                       | 88 ± 10  | -                                   | -   |
| 9.   | 0,265 - 0,345                       | 73 ± 10  | -                                   | -   |

Экспериментальные данные параметризовались с помощью формулы:

$$d\sigma/dt' = A(1 - q\sigma t')\exp(\sigma t'), \quad (12)$$

где  $q$  — отношение вкладов амплитуд рассеяния с переворотом и без переворота спина. В соответствии с этой параметризацией для величин

$A$ ,  $q$  и  $\sigma$  найдены значения:

| $p$ (ГэВ/с) | $A$ мкб/(ГэВ/с) <sup>2</sup> | $q$       | $\sigma$ (ГэВ/с) <sup>-2</sup> | $\chi^2$ |
|-------------|------------------------------|-----------|--------------------------------|----------|
| 3,3         | 76 ± 13                      | 4,0 ± 1,0 | 5,5 ± 1,0                      | 5,4      |
| 4,75        | 40 ± 8                       | 5,8 ± 1,6 | 6,5 ± 0,8                      | 3,2      |

В таблице 3 сравниваются значения параметров  $A$ ,  $q$ ,  $\sigma$  для процессов (1) и (2).

Из таблицы 3 видно, что параметры  $q$ , характеризующие отношения вкладов амплитуд рассеяния с переворотом спина и без переворота спина для реакций (1) и (2), в пределах ошибок совпадают.

Полные сечения реакции (1), полученные путем интегрирования дифференциальных сечений в интервале от  $-t_{min}$  до  $-1$  (ГэВ/с)<sup>2</sup> для импульсов 3,3 и 4,75 ГэВ/с, соответственно равны (64,3 ± 28,7) и (37,2 ± 12,6) мкб.

Таблица 3.

| Реакция                           | $P_{II}$ (ГэВ/с) | $A$ мкб/(ГэВ/с) <sup>2</sup> | $q$       | $\sigma$ (ГэВ/с) <sup>-2</sup> |
|-----------------------------------|------------------|------------------------------|-----------|--------------------------------|
| $\Pi p \rightarrow \eta n / \eta$ | 3,3              | 124,9 ± 9,0                  | 5,5 ± 0,5 | 5,6 ± 0,2                      |
|                                   | 4,75             | 88,1 ± 12,4                  | 5,0 ± 0,9 | 6,0 ± 0,4                      |
| $\Pi p \rightarrow \eta \Delta^0$ | 3,3              | 76 ± 13                      | 4,0 ± 1,0 | 5,5 ± 1,0                      |
|                                   | 4,75             | 40 ± 8                       | 5,8 ± 1,6 | 6,5 ± 0,8                      |

Данные настоящей работы для  $d\sigma/dt$  (около 1100 событий) при импульсе 4,75 ГэВ/с вместе с ранее полученными результатами при импульсе 3,3 ГэВ/с [1], позволяют с помощью формулы (13) определить эффективную траекторию для реакции (1)

$$d\sigma/dt = F(t) (\sigma/\sigma_0)^2 \alpha_{\text{эфф}}(t)^{-2} \quad (13)$$

После параметризации экспериментальных точек по формуле

$$\alpha_{\text{эфф}}(t') = \alpha_0 + \alpha' t' \quad \text{для эффективной траектории Редже получаем}$$

$$\alpha_{\text{эфф}}(t') = (0,49 \pm 0,09) + (0,8 \pm 0,5)t'. \quad (14)$$

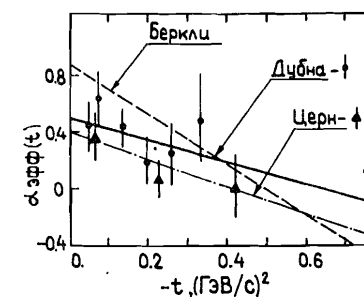


Рис. 5. Эффективные траектории Редже  $\alpha_{\text{эфф}}$  для реакции  $\Pi p \rightarrow \eta \Delta^{++}(1232)$ : штриховая прямая — данные работы [2], штрих-пунктирная прямая — данные работы [3], сплошная прямая — настоящая работа.

Это значение  $\alpha_{\text{эфф}}(t')$  в пределах ошибок совпадает с величиной  $\alpha_{\text{эфф}}(t')$ , полученной в работе /2,13/ и не согласуется с результатом работы /3/. На рис.5 приведены эффективные траектории Редже, полученные в данной работе и в работах /2,3/.

В заключение авторы благодарят А.М.Балдина за поддержку и внимание к работе, В.И.Иванова, В.И.Прохорова, Г.Т.Тахтамышева и В.И.Изьорова за помощь.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов В.В. и др. ЯФ, 1986, 43, 893.
2. Honeker R. et al. Nucl. Phys., 1977, B131, p.189.
3. Grether D.F. et al. Phys. Rev. Lett., 1971, vol.26, p.792.
4. Bloodworth I.J. et al. Nucl. Phys., 1974, B81, p.231.
5. J.P. de Brion, C.Lewin. Nuovo Cim, 1974, 19A, p.225.
6. Аверичев С.А. и др. ПТЭ, 1979, 4, 57.
7. Arkhipov V.V. et al. JINR, E1-11596, Dubna, 1978.  
Мелкумов Г.Л. ОИЯИ, I-13014, Дубна, 1979.
8. Мелкумов Г.Л., Хачатурян М.Н., ОИЯИ, IO-8I70, Дубна, 1974.
9. Мелкумов Г.Л., Хачатурян М.Н. ОИЯИ, IO-7960, Дубна, 1974.
10. Копылов Г.И., Хвастунов М.С. ОИЯИ, PI-3I64, Дубна, 1967.
11. Ioan I. et al. Central Institute of Physics, Bucharest, 1984,  
Progress in Heavy Ion Physics, 1982-83, p.90.
12. Будагов Ю.А. и др. ОИЯИ, PI-4993, Дубна, 1970,  
ApeI W.D. et al. Phys. Lett., 1975, 55B, p.111.
13. Shaevitz M.H. et al. Phys. Rev. Lett., 1976, 36, p.5.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 апреля 1987 года.

Архипов В.В. и др.  
Дифференциальное сечение реакции  $\pi^-p \rightarrow \eta\Delta^0$  (1232)  
при импульсах 3,3 и 4,75 ГэВ/с

P1-87-271

Измерено дифференциальное сечение реакции  $\pi^-p \rightarrow \eta\Delta^0$  (1232) при  $P_{\pi^-} = 3,3$  и  $4,75$  ГэВ/с в области переданных импульсов от  $-t_{\min}$  до  $0,37$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>. В дифференциальном сечении обнаружен минимум в переднем направлении, указывающий на существенную роль амплитуды с изменением спиральности. Экспериментальные данные фитировались зависимостью  $d\sigma/dt' = A(1 - gCt) \exp(Ct')$ , где  $g$  - отношение амплитуд рассеяния с переворотом и без переворота спина. Для величин  $A$ ,  $g$  и  $C$  найдены следующие значения:

| P (ГэВ/с) | A мкб/(ГэВ/с) <sup>2</sup> | g         | C (ГэВ/с) <sup>-2</sup> |
|-----------|----------------------------|-----------|-------------------------|
| 3,3       | 76 ± 13                    | 4,0 ± 1,0 | 5,5 ± 1,0               |
| 4,75      | 40 ± 8                     | 5,8 ± 1,6 | 6,5 ± 0,8.              |

Рассчитана эффективная траектория Редже для реакции  $\pi^-p \rightarrow \eta\Delta^0$  (1232):  
 $\alpha_{\text{эфф}}(t') = (0,49 \pm 0,09) + (0,8 \pm 0,5)t'$ .

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод авторов

Arkhipov V.V. et al.  
Differential Cross Section of the  $\pi^-p \rightarrow \eta\Delta^0$  (1232) Reaction  
at a Momenta of 3.3 and 4.75 GeV/c

P1-87-271

The differential cross sections of the  $\pi^-p \rightarrow \eta\Delta^0$  (1232) reaction at  $P_{\pi^-} = 3.3$  and  $4.75$  GeV/c has been measured in the region of momentum transfers from  $t_{\min}$  to  $0.37$  (GeV/c)<sup>2</sup>. A significant minimum observed in the differential cross section indicates a dominance of the helicity-flip amplitude. The experimental data have been fitted by the formula  $d\sigma/dt' = A(1 - gCt) \exp(Ct')$ , where  $g$  is the ratio of the spin-flip and spin-nonflip amplitudes. The following values have been found for  $A$ ,  $g$  and  $C$ :

| P (GeV/c) | A $\mu\text{b}/(\text{GeV}/\text{c})^2$ | g         | C (GeV/c) <sup>-2</sup> |
|-----------|---|-----------|-------------------------|
| 3.3       | 76 ± 13                                 | 4.0 ± 1.0 | 5.5 ± 1.0               |
| 4.75      | 40 ± 8                                  | 5.8 ± 1.6 | 6.5 ± 0.8.              |

The effective Regge trajectory has been calculated for the  $\pi^-p \rightarrow \eta\Delta^0$  (1232) reaction:  $\alpha_{\text{eff}}(t') = (0.49 \pm 0.09) + (0.8 \pm 0.5)t'$ .

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987