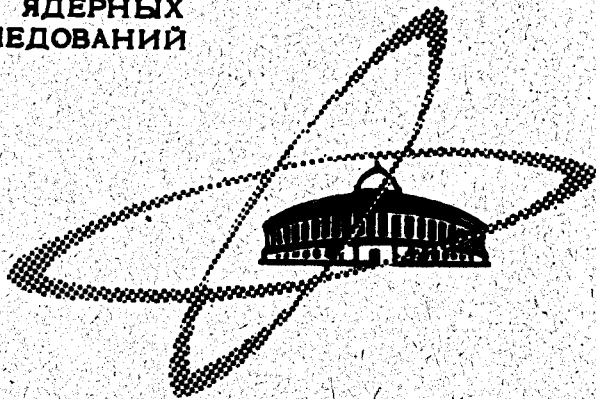


Б-903

ДФ, 1970, т. 12, № 6, с. 1222-1228 <sup>12/V-70</sup>  
1228

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P1 - 4993

Ю.А. Будагов, В.Б. Виноградов, А.Г. Володько,  
В.П. Джелепов, Г. Мартинска, В.С. Кладницкий,  
Ю.Ф. Ломакин, В.Б. Флягин, Л. Шандор,  
П.В. Шляпников

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ  
НЕЙТРАЛЬНЫХ КОНЕЧНЫХ СОСТОЯНИЙ В  $\pi^-$  p  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГЭВ/С

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

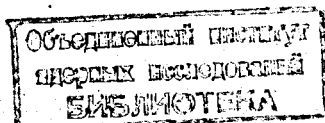
1970

P1 - 4993

Ю.А. Будагов, В.Б. Виноградов, А.Г. Володько,  
В.П. Джелепов, Г. Мартинска, В.С. Кладницкий,  
Ю.Ф. Ломакин, В.Б. Флягин, Л. Шандор,  
П.В. Шляпников

ИЗМЕРЕНИЕ СЕЧЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ  
НЕЙТРАЛЬНЫХ КОНЕЧНЫХ СОСТОЯНИЙ В  $\pi^-$  p  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 5 ГЭВ/С

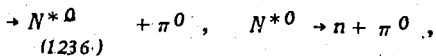
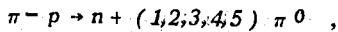
Направлено в ЯФ.



## В в е д е н и е

В настоящее время накоплено большое количество экспериментальных данных о пион-нуклонных взаимодействиях <sup>x/</sup>. Однако при этом основное число работ посвящено изучению реакций с заряженными частицами в конечном состоянии. Из реакций с нейтральными частицами относительно хорошо исследованы только две:  $\pi^- p \rightarrow p \pi^0$  и  $\pi^- p \rightarrow n \eta^0 (\eta^0 \rightarrow 2\gamma)$ . В то же время для получения более полной картины пион-нуклонных взаимодействий и проверки предсказаний ряда теоретических моделей <sup>xx/</sup>, описывающих эти взаимодействия, необходимо знать сечения образования нейтральных конечных состояний.

В данной работе были измерены сечения следующих реакций:



<sup>x/</sup> Например, компиляция Джакомелли и др. /1/ насчитывает 9574 данных только по пион-нуклонному рассеянию.

<sup>xx/</sup> Например, мультипериферическая модель Редже /2/, предсказывающая ход сечения в зависимости от числа пионов в конечном состоянии, статистическая изоспиновая модель /3/, с помощью которой можно получить относительные вероятности различных зарядовых конфигураций и др.

$$\rightarrow p + f^0, \quad f^0 \rightarrow 2\pi^0,$$

$$\rightarrow p + \eta^0, \quad \eta^0 \rightarrow 2\gamma$$

при импульсе падающих  $\pi^-$ -мезонов 5 Гэв/с.

### Анализ данных

В результате просмотра 230000 фотографий, полученных с помощью метровой пропановой пузырьковой камеры ОИЯИ /4/, экспонированной в пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 5 Гэв/с, было найдено около 1000 О-лучевых событий ("остановок"  $\pi^-$ -мезонов) с двумя и более гамма-квантами, зарегистрированными в камере по  $e^+e^-$ -парам конверсии. После измерений на полуавтоматах /6/ события были обработаны на ЭВМ БЭСМ-4 по программам геометрической реконструкции /7/ и кинематического анализа /8/.

Для дальнейшей обработки были остановлены события, удовлетворяющие критериям:

1) конверсия  $\gamma$ -квантов произошла в заданном эффективном объеме камеры,

2)  $\gamma$ -кванты должны иметь энергию более 50 Мэв,

3) угол разлета между двумя  $\gamma$ -квантами должен превышать  $2^\circ$ .

Последние два условия были введены для исключения примеси фоновых  $\gamma$ -квантов, образованных в другом взаимодействии или в результате тормозного излучения электронов и позитронов.

Распределение событий, удовлетворяющих этим критериям, по числу зарегистрированных гамма-квантов приведено в таблице 1.

Таблица 1

Распределение событий по числу зарегистрированных гамма-квантов и по числу комбинаций, вошедших в импульсный спектр ( $p$ ) и в спектр недостающих масс ( $m$ )

Число $\gamma$ - квантов	2	3	4	Всего
Число событий	375	88	17	480
Число $m$ -комбинаций	375	264	102	741
Число $p$ -комбинаций	750	264	68	1082

Определение сечений реакций

а) Сечения реакций  $\pi^- p \rightarrow p \pi^0$  и  $\pi^- p \rightarrow p \eta (\eta^0, 2 \gamma)$

Сечения данных реакций определялись из соотношения  $\sigma = \frac{N}{\epsilon} \cdot W \cdot \sigma_0$ , где  $N$  - число событий, удовлетворяющих кинематике реакции,  $\epsilon$  - вероятность регистрации события,  $W$  - поправка, учитывающая эффективность идентификации реакций и примесь фоновых событий,  $\sigma_0$  - "цена" события в мкб.

Идентификация событий производилась с помощью программы кинематической идентификации каналов реакций 10-10K<sup>18/</sup>(2C-FIT). Полученные в результате сечения и величины  $N$ ,  $\epsilon$  и  $W$ , использованные при их вычислении, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сечения и величины  $N$ ,  $\epsilon$  и  $W$  для реакций $\pi^- p \rightarrow n \pi^0$  и  $\pi^- p \rightarrow n \eta^0$  ( $\eta^0 \rightarrow 2\gamma$ )

Реакция	сечение (мкб)	$N$	$\epsilon$ %	$W$
$\pi^- p \rightarrow n \pi^0$	$92 \pm 30$	10	5,8	$1,20 \pm 0,06$
$\rightarrow n \eta^0$ ( $\eta^0 \rightarrow 2\gamma$ )	$19 \pm 14$	2	5,0	$1,20 \pm 0,06$

б) Сечения реакций  $\pi^- p \rightarrow n + (2, 3, 4, 5) \pi^0$ , $\pi^- p \rightarrow N^* \pi^0$  и  $\pi^- p \rightarrow n f^0$  ( $f^0 \rightarrow 2\pi^0$ )  
(1236)

Получить сечения реакций с несколькими  $\pi^0$ -мезонами в конечном состоянии методом, примененным для реакции с одним  $\pi^0$ , невозможно из-за отсутствия событий с достаточной множественностью  $\gamma$ -квантов (вероятность регистрации  $\gamma$ -квантов в камере  $\epsilon \approx 20\%$ ).

Поэтому для определения сечений был применен метод <sup>19</sup> подгонки (фитирования) наборов расчетных спектров, соответствующих данным реакциям, к экспериментальным спектрам. При этом неизвестными параметрами являются сечения исследуемых реакций.

В результате специально проведенного исследования было установлено, что эти сечения могут быть определены с приемлемой точностью при использовании распределений импульсов гамма-квантов и квадратов недостающих масс к двум гамма-квантам (форма этих распределений изменяется весьма заметно при переходе от реакции к реакции).

Расчетные распределения по импульсам и недостающим массам, а также вероятности регистрации реакций были получены методом Монте-Карло с помощью программы FOWL <sup>10</sup> на ЭВМ БЭСМ-6. Для каждой реакции моделировалось 30-50 тысяч событий.

При моделировании учитывались: импульсное распределение первичных  $\pi^-$ -мезонов, положение точки взаимодействия в объеме камеры, угловое распределение вторичных частиц в системе центра масс  $\pi^- p$ , вероятность конверсии гамма-квантов в эффективном объеме камеры, точности измерения импульсов и углов гамма-квантов, потери электронов и позитронов на ионизацию и тормозное излучение, критерии отбора событий.

Аппроксимация экспериментальных распределений по недостающей массе (рис. 1а) и по импульсу (рис. 1б) соответствующими суммарными расчетными распределениями была выполнена методом наименьших квадратов с помощью программы типа MINUIT [11].

Минимизировался функционал:

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^{16} \frac{(N_k^{(M)} - n_k^{(M)})^2}{N_k^{(M)}} + \sum_{\ell=1}^{20} \frac{(N_\ell^{(p)} - n_\ell^{(p)})^2}{N_\ell^{(p)}},$$

где

$$n_k^{(M)} = \sum_{i=1}^6 \sigma_i \epsilon_i^{(M)} \rho_{ik}^{(M)} / \sigma_0, \quad n_\ell^{(p)} = \sum_{i=1}^6 \sigma_i \epsilon_i^{(p)} \rho_{i\ell}^{(p)} / \sigma_0,$$

$$\epsilon_i^{(M)} = \eta_m^2 + 3\eta_m^3 + 6\eta_m^4, \quad \epsilon_i^{(p)} = 2\eta_m^2 + 3\eta_m^3 + 4\eta_m^4.$$

В этих формулах индексы  $i = 1, 2, 3, 4$  соответствуют реакциям  $\pi^- p \rightarrow n + (2, 3, 4, 5)\pi^0$ ,  $i = 5, 6$  - реакциям  $\pi^- p \rightarrow N^* \pi^0$ ,  $\pi^- p \rightarrow n f^0$ ,  $N_k^{(M)}$  и  $N_\ell^{(p)}$  - экспериментально наблюдаемые заполнения  $k$ -го и  $\ell$ -го интервалов распределений по недостающей массе ( $M$ ) и импульсу ( $p$ ),

$n_{ik}^{(M)}$  и  $n_{i\ell}^{(p)}$  - соответствующие им расчетные величины;  $\rho_{ik}^{(M)}$  ( $\rho_{i\ell}^{(p)}$ ) - расчетная вероятность наблюдения в  $i$ -ой реакции величин массы (импульса) в  $k$ -ом ( $\ell$ -ом) интервале соответствующего распределения,

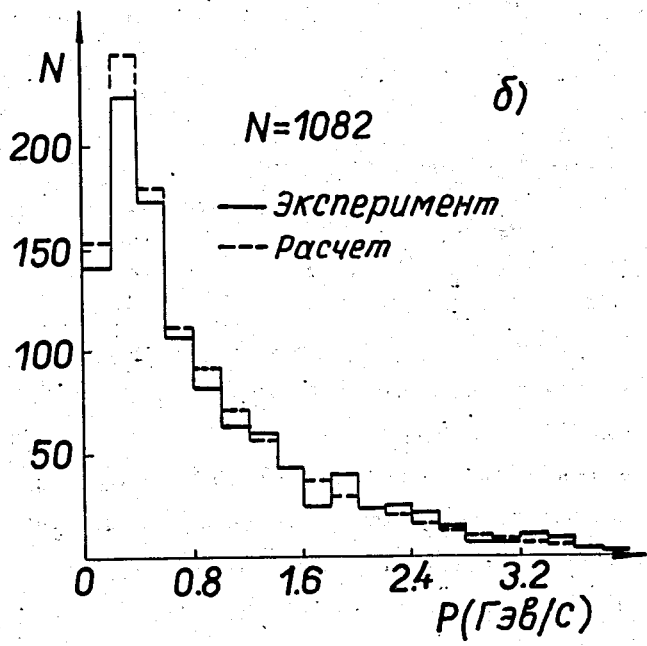
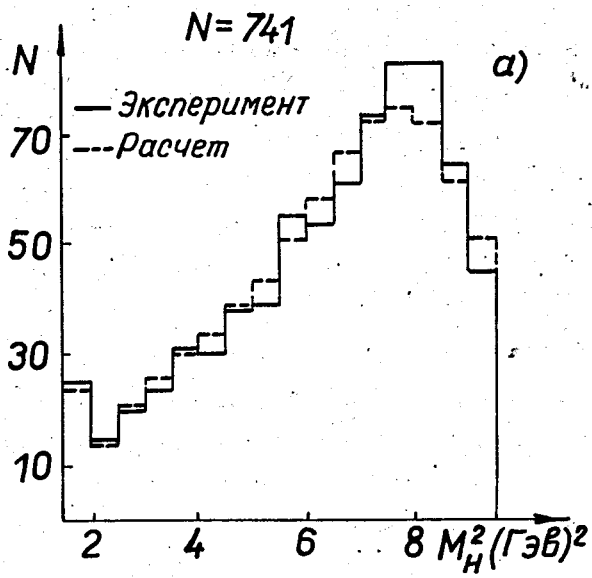


Рис.1. Экспериментальные спектры: а) распределение событий по недостающей массе; б) распределение по импульсу. Пунктиром показаны подогнанные расчетные спектры.



$\eta_{m}^{2,3,4}$  - вероятность регистрации 2,3,4-х  $\gamma$ -квантов из  $m$ -гамма-квантов (для  $i = 1, 2, \dots, 6$   $m = 4, 6, 8, 10, 4, 4$ ).

Величины  $\epsilon_i^{(M)}$  и  $\epsilon_i^{(P)}$  приведены в таблице 3, а спектры  $\rho_{ik}^{(M)}$  и  $\rho_{il}^{(P)}$  - на рис. 2.

Таблица 3

Сечения и величины  $\epsilon_i^{(M)}$  и  $\epsilon_i^{(P)}$  для реакций  $\pi^- p \rightarrow n^+(2,3,4,5)\pi^0$ ,  $\pi^- p \rightarrow n f^0$  и  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 N^{*0}$

Реакция	сечение (мкб)	$\epsilon_i^{(M)}$	$\epsilon_i^{(P)}$
$\pi^- p \rightarrow n 2\pi^0$	$396 \pm 88$	0,20	0,32
$\rightarrow n 3\pi^0$	$135 \pm 86$	0,37	0,53
$\rightarrow n 4\pi^0$	$132 \pm 34$	0,55	0,74
$\rightarrow n 5\pi^0$	$120 \pm 20$	0,76	0,95
$\rightarrow n f^0 (f^0 \rightarrow 2\pi^0)$	$280 \pm 88$	0,20	0,33
$\rightarrow \pi^0 N^{*0} (N^{*0} \rightarrow n\pi^0)$	$186 \pm 60$	0,16	0,27

Результаты аппроксимации - сечения исследуемых реакций представлены в таблице 3, а подобранные суммарные расчетные спектры - пунктиром на рис. 1. При этом вероятность  $P(\chi^2) = 90\%$  (число экспериментальных точек равно 36, число параметров - 6,  $\chi^2_{min} = 20$ ).

Нормировка сечений была произведена на измеренное в работе /12/ с помощью счетчиков полное сечение образования нейтральных конечных состояний, составляющее при нашей энергии  $(1380 \pm 40)$  мкб. При этом одному событию в нашем эксперименте соответствует сечение  $\sigma_0 = (0,476 \pm 0,024)$  мкб.

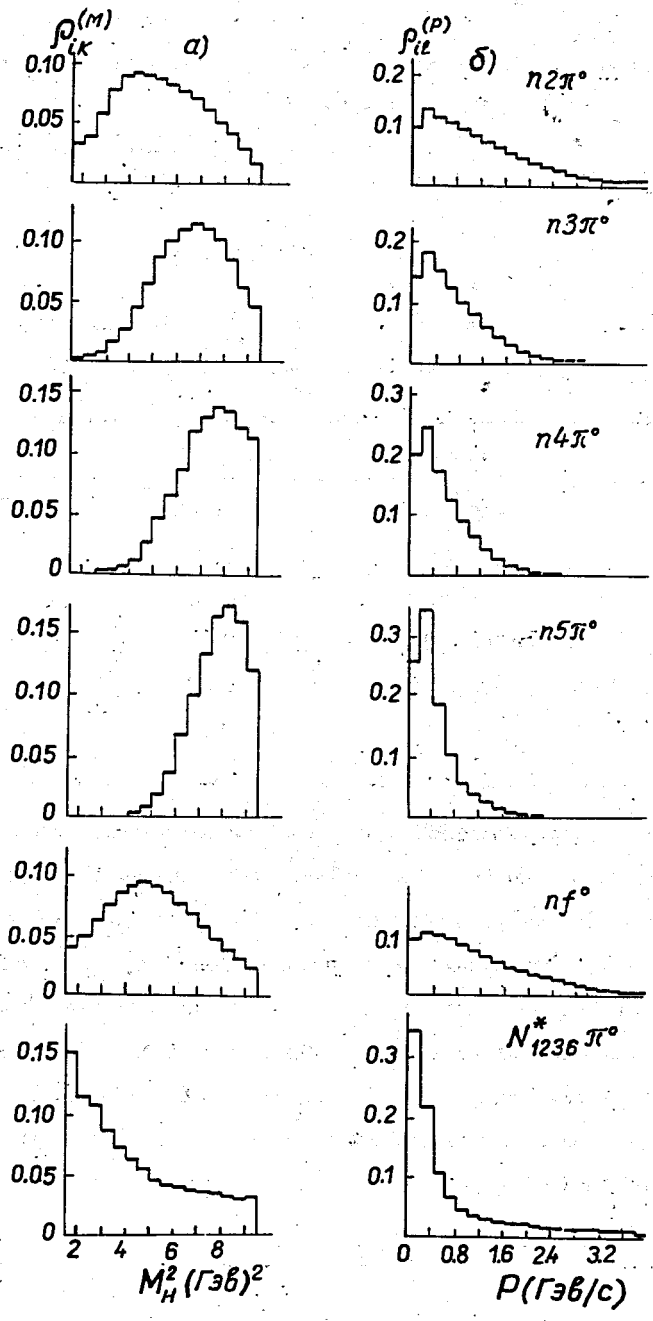


Рис.2. Расчетные спектры различных реакций : а)  $\rho_{ik}^{(M)}$  , б)  $\rho_{il}^{(P)}$

в) Фоновые реакции

Кроме событий от исследуемых реакций вклад в экспериментальные спектры, в принципе, могут дать события из реакций:  $\pi^- p \rightarrow n \omega^0 (\omega^0 \rightarrow \pi^0 \gamma)$ ,  $N^* \omega^0$ ,  $N^* f^0$ ,  $n \eta^0 (\eta^0 \rightarrow 3 \pi^0)$ , а также из реакций рождения странных частиц с незарегистрированными  $\Lambda^0$  и  $K^0$ .

Сечения, вероятности регистрации и вклады событий этих реакций приведены в таблице 4. Как видно из таблицы, вклад фоновых событий не превышает 3%.

Таблица 4  
Сечения, вероятности регистрации и вклады событий  
фоновых реакций

Тип реакции	Сечение (мкб)	Вероятн. регистр. (%)	Полное число фон. событий	Относит. числ. фон. событ. (%)
$\pi^- p \rightarrow n \omega^0 (\omega^0 \rightarrow \pi^0 \gamma)$	$15 \pm 5$ <sup>/28/</sup>	9,6	$3 \pm 1$	$0,4 \pm 0,1$
$\rightarrow N^* \omega^0$	$10$ <sup>/24/</sup>	20	$< 10$	$< 1$
$\rightarrow N^* f^0$	$10$ <sup>/24/</sup>	20	$< 10$	$< 1$
$\rightarrow n \eta^0 (\eta^0 \rightarrow 3 \pi^0)$	$16 \pm 5$ <sup>/29/</sup>	40	$21 \pm 6$	$2,8 \pm 0,9$
$\rightarrow$ странные частицы, $+ \pi \pi^0; m \geq 1$	$130 \pm 30$	$0,5 \pm 1,5$	$10 \pm 3$	$1,3 \pm 0,3$

Кроме того, существует примесь взаимодействий  $\pi^-$ -мезонов с квазисвободными протонами ядер углерода ( $\approx 20\%$ )<sup>/13/</sup>. Величина этой примеси незначительна, поскольку, во-первых, определяемые сечения нормируются на полное нейтральное сечение, измеренное в эксперименте на водородной мишени, и, во-вторых, эта примесь, как следует

из работ /13-15/, выполненных на пропановой пузырьковой камере, не зависит от наблюдаемой множественности частиц.

### Обсуждение результатов

На рис. 3 показаны сечения исследуемых реакций в зависимости от импульса падающих  $\pi^-$ -мезонов  $\bar{x}$ .

Сечения реакций  $\pi^- p \rightarrow n + m \pi^0$  ( $m \geq 2$ ) при импульсе  $\pi^-$ -мезонов выше 4 Гэв/с и сечение реакции  $\pi^- p \rightarrow N^{*0} + \pi^0$  ( $N^{*0} \rightarrow n + \pi^0$ ) (1236) выше 2 Гэв/с ранее не измерялись; наши результаты являются продолжением исследования этих реакций при больших импульсах  $\pi^-$ -мезонов.

Из рис. 3 видно, что сечения реакций с образованием  $2\pi^0$  и  $3\pi^0$  падают с ростом энергий, реакций с образованием  $4\pi^0$  и  $5\pi^0$  - растут, а сечение реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 N^{*0}$  (1236) в пределах ошибок остается неизменным. Выделяется поведение сечения реакции с образованием  $f^0$ , достигающее максимума в интервале (4-6) Гэв/с.

Для реакций  $\pi^- p \rightarrow n \pi^0$  и  $\pi^- p \rightarrow n \eta^0$  ( $\eta^0 \rightarrow 2\gamma$ ) имеются измерения в соседних интервалах энергий. Наши данные удовлетворительно согласуются с общей зависимостью хода этих сечений от энергии  $\pi^-$ -мезонов, обсуждающейся в ряде работ /16/.

В заключение мы благодарим лаборантов нашей группы за проведенный просмотр пленок и анализ событий и лаборантов ООФИ ЛВТА за измерения событий.

$\bar{x}$ / Данные о сечениях реакций  $\pi^- p \rightarrow n \pi^0$  и  $\pi^- p \rightarrow n \eta^0$  ( $\eta^0 \rightarrow 2\gamma$ ) взяты из работы /1/,  $\pi^- p \rightarrow n + m \pi^0$  ( $m = 2, \dots, 5$ ) - из работ /17-20/,  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 N^{*0}$  ( $N^{*0} \rightarrow n \pi^0$ ) - из работ /21, 28/, сечения реакций  $\pi^- p \rightarrow n f^0$  ( $f^0 \rightarrow 2\pi^0$ ) - из работ /23-27/ (для сечений этой реакции при всех импульсах  $\pi^-$ -мезонов, кроме 10 Гэв/с /27/, использовано соотношение  $\sigma(\pi^- p \rightarrow n f^0 \rightarrow 2\pi^0) = \frac{1}{2} \sigma(\pi^- p \rightarrow n f^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-)$ ).

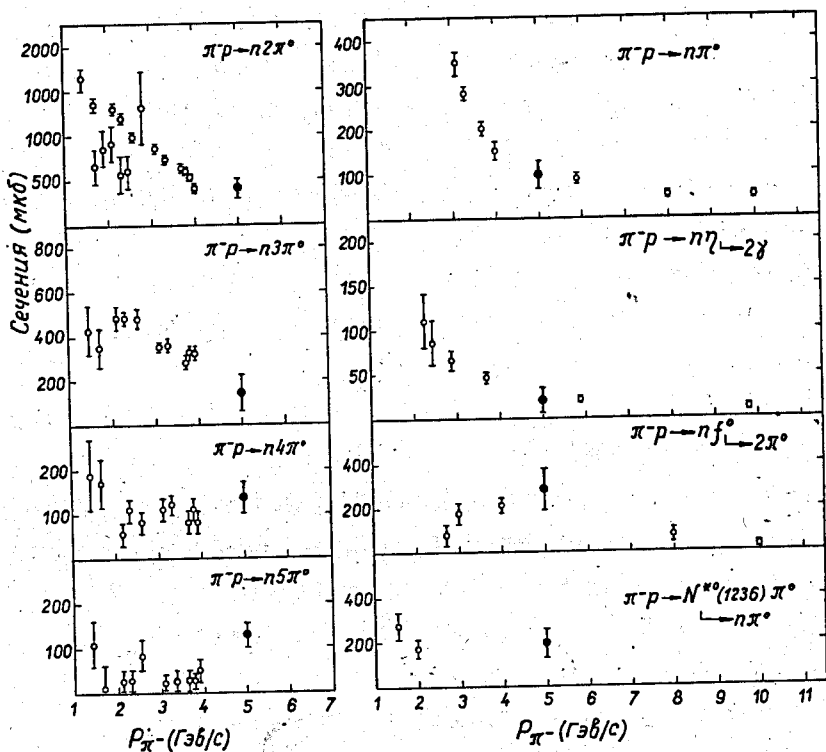


Рис.3. Зависимость сечений реакций  $\pi^-p \rightarrow n + (1, 2, 3, 4, 5)\pi^0$ ,  
 $\pi^-p \rightarrow n + f^0$  ( $f^0 \rightarrow 2\pi^0$ ) и  $\pi^-p \rightarrow \pi^0 + N^{*0}$  ( $N^{*0} \rightarrow n + \pi^0$ )  
 от импульса первичных  $\pi^-$ -мезонов. Значком  $\bullet$  обозначены  
 данные настоящей работы.

## Л и т е р а т у р а

1. G. Giacomelli et al. CERN-HERA 69-1.
2. J. Finkelstein and K. Kayantil. NC 56A, 569 (1968).
3. J. Bartke and O. Czyzewski. Nucl.Phys., 135, 582 (1965).
4. А.В. Богомолов и др. ПТЭ 1, 61 (1964).
5. В.С. Кладницкий, В.Б. Флягин. Препринт ОИЯИ 1501, Дубна (1964).
6. В.Я. Алмазов и др. Препринт ОИЯИ 1352, Дубна (1963).
7. Н.А. Буздавина и др. Препринт ОИЯИ Б1-10-3572 (1967).
8. З.М. Иванченко и др. Препринт ОИЯИ Р-2399 (1965).
9. H. Hulubei et al. Rev.Roumaine de Physique 9, 223 (1964).  
J.H. Boyd et al. Phys.Rev., 166, 1458 (1966).  
В.Г. Гришин и др. Препринт ОИЯИ Р1-4412, Дубна (1969).
10. F. James. FOWL, CERN Program Library, W 505.
11. F. James and M. Ross. MINUIT, CERN Program Library, D506.
12. M. Feldman et al. Nuovo Cim., 50, 89 (1967).
13. Б.П. Банник и др. Препринт ОИЯИ 1-3096. Дубна (1966).
14. М.Р. Атаян и др. Препринт ОИЯИ 1-3779. Дубна (1968).
15. Ван Ган Чан и др. ЖЭТФ, 40, 464 (1961).
16. В.А. Шебанов. Вопросы физики элементарных частиц, т. 5, стр.627,  
Изд-во АН СССР, 1966.
17. A.S. Carroll et al. Phys.Rev., 177, 2047 (1969).
18. H.R. Crouch et al. Phys.Rev.Lett., 21, 845 (1968).
19. Я. Гладки. Препринт ОИЯИ 1-4786, Дубна (1969).
20. Я.Я. Шаламов, В.А. Шебанов. ЖЭТФ 39, 1232 (1960).
21. I.F. Corbett et al. Nuovo Cim., 39, 979 (1965).
22. M. Feldman et al., Phys.Rev.Lett., 22, 316 (1969).
23. D.H. Miller et al., Phys.Rev., 153, 1423 (1967).

24. L. Bondar et al., Nuovo Cim., 31, 485 (1964).  
L. Bondar et al., Nuovo Cim., 31, 729 (1964).
25. G. Bellini et al., Nuovo Cim., 53A, 798 (1968).
26. W. Selove et al., Phys. Rev. Lett., 9, 272 (1962).
27. M. Wahlig et al., Phys. Rev., 147, 941 (1966).
28. A. Forino et al., Phys. Lett., 19, 68 (1965).
29. I. Ohba, T. Kobayashi. Suppl. Progress of Theor. Phys., 41-42, 90 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел

18 марта 1970 года.