

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



С346.46  
А-646

2775/2-76

P1 - 9588

Н.Ангелов, Н.О.Ахабабян, Л.Д.Грекова, Н.Л.Иков,  
Е.Н.Кладницкая, В.Н.Пенев, Х.Семерджиев,  
М.И.Соловьев, А.И.Шкловская

НЕКОТОРЫЕ ЭКСКЛЮЗИВНЫЕ РЕАКЦИИ  
В П<sup>-</sup>Р - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 40 ГЭВ/С

1976

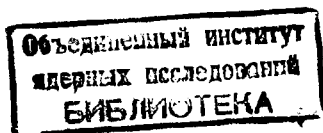
P1 - 9588

Н.Ангелов, Н.О.Ахабабян,\* Л.Д.Грекова,\* Н.Л.Иков,\*  
Е.Н.Кладницкая, В.Н.Пенев, Х.Семерджиев,  
М.И.Соловьев, А.И.Шкловская

НЕКОТОРЫЕ ЭКСКЛЮЗИВНЫЕ РЕАКЦИИ  
В  $\Pi^-$  P - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 40 ГЭВ/С

---

\* Институт ядерной физики и ядерной энергетики,  
София.



Данные, представленные здесь, основаны на дополнительном обсчете по программе кинематической обработки около 6000 событий, накопленных при изучении инклюзивных реакций  $\pi^-$ -мезонов с протонами при энергии 40 ГэВ. События были зарегистрированы в пропановой двухметровой камере /1/ и измерены в лабораториях Сотрудничества. Результаты изучения инклюзивных реакций опубликованы в ряде работ /2-4/. Там же рассмотрены методические вопросы эксперимента.

Изменения, необходимые для того, чтобы осуществить расчеты, были внесены в программу ГЕОФИТ /5,6/, причем, кроме имеющегося в программе внутреннего ввода в блок идентификации гипотез, осуществлен ввод результатов геометрической программы с внешней магнитной ленты /рис. 1/. Расчет выполнялся только для таких событий /не считая расчетов, проведенных с методическими целями/, которые не имеют  $\gamma$ -квантов или  $V^0$ -событий, и анализировались те гипотезы, которые предполагают отсутствие нейтральных частиц /т.е. 4С-фит/. Соблюдалось требование, состоящее в том, чтобы импульсы всех заряженных частиц для обсчитываемых событий были измерены с точностью  $\Delta p/p \leq 20\%$ . Остальные события учитывались при определении сечений. Отбор подходящих гипотез осуществлялся по величинам  $\chi^2$  ( $\chi^2 \leq 13$ ), представляющим собой минимум функционала:

$$F = \sum_{i,j=1}^{3n} (x_i - x_i^m) G_{ij} (x_j - x_j^m) + \sum_{k=1}^L \lambda_k f_k(x),$$

где  $x_{i,j}^m$  - измеренные, а  $x_{i,j}$  - искомые значения параметров,  $G_{ij}$  - элементы матрицы весов для парамет-

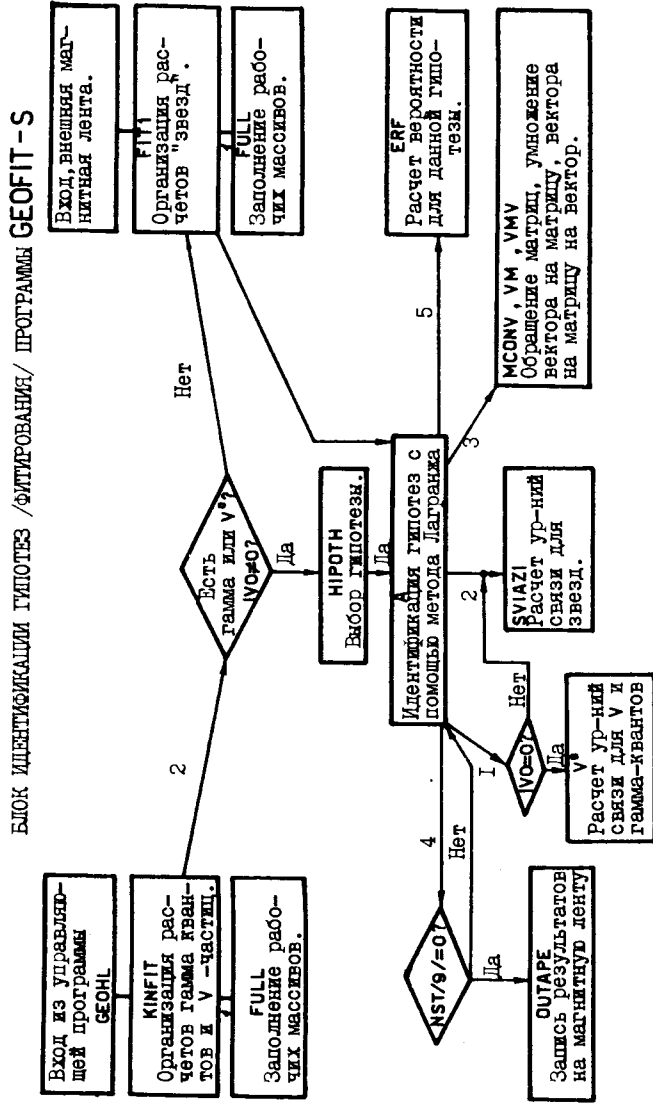


Рис. 1. Блок идентификации гипотез /фиттирования/ программы GEOFIT-S.

Таблица 1

№№ п/п	Канал реакции	Количество событий			
		Данной топологии	Данного канала без поправок	Данного канала с поправками	Поперечное сечение $\sigma$ (мб)
1.	$\pi^- p \rightarrow p \pi^+ 2\pi^-$	1742	125	104,6	$0,67 \pm 0,09$
2.	$\pi^- p \rightarrow p 2\pi^+ 3\pi^-$	1568	87	52,7	$0,31 \pm 0,11$
3.	$\pi^- p \rightarrow p 3\pi^+ 4\pi^-$	901	38	19,2	$0,12 \pm 0,06$
4.	$\pi^- p \rightarrow p 4\pi^+ 5\pi^-$	368	16	7,8	$0,05 \pm 0,03$
5.	$\pi^- p \rightarrow p 5\pi^+ 6\pi^-$	132	5	1,8	$\sim 0,11$
6.	$\pi^- p \rightarrow p 6\pi^+ 7\pi^-$	28	2	1,2	$\sim 0,007$
В с е г о:		4739	273	187,3	$\sim 1,168$

ров,  $n$  - число треков,  $L$  - число уравнений связи,  $\lambda_k$  - неопределенные множители Лагранжа. Требовалось соблюдение законов сохранения на уровне  $\sum f_i \leq 1$  МэВ. Отсутствие сходимости итерационного процесса /т.е. несоблюдение законов сохранения при числе итераций  $N > 20$ / считалось равносильным /7/ тому, что данная гипотеза не является подходящей к проверяемому событию.

Из всех обчисленных взаимодействий было отобрано 234 события упругого рассеяния  $\pi^-$ -мезонов на протонах. Количество других выделенных реакций приведено в табл. 1. Среднее значение  $\chi^2$  величин для всех отобранных реакций составляет 4,38 при теоретическом значении, равном 4. Распределение протонов по азимутальному углу  $\phi$  /угол в плоскости, перпендикулярной пучку/ приведено на рис. 2. Отдельно показано распределение

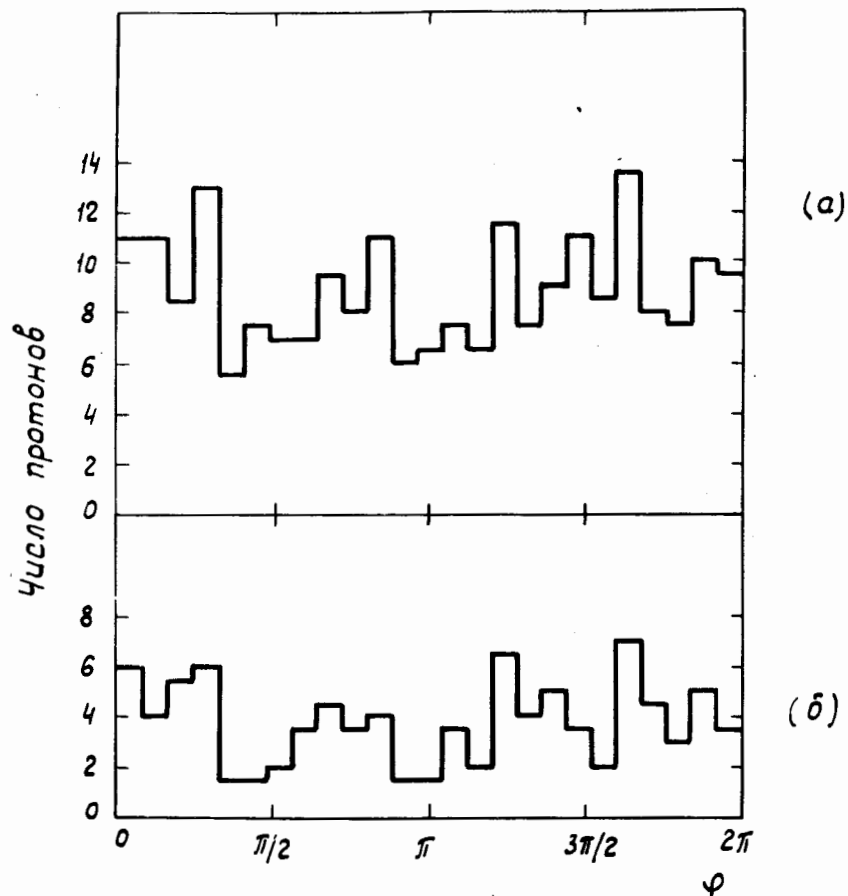


Рис. 2. Распределения протонов по азимутальному углу  $\phi$ : /а/ для всех выделенных реакций; /б/ только для случаев упругого рассеяния  $\pi^-$ -мезонов на протонах.

по  $\phi$  для случаев упругого рассеяния  $\pi^-$ -мезонов на протонах. Как видно, существенных потерь по  $\phi$  не наблюдается.

Недостающие массы для упругих взаимодействий группируются около нуля со средним  $\langle M_{\text{нед}} \rangle = -0,30 \text{ МэВ}$  /знак здесь поставлен условно;  $\langle M_{\text{нед}}^2 \rangle = -0,0913 / \text{МэВ}^2$  / и дисперсией  $0,176$  /рис. 3/. Приведем величины ошибок в определении импульсов /табл. 2/, полученные после

применения программы кинематической идентификации для всех изучаемых реакций.

Очевидно, что события с зарегистрированными в камере  $\gamma$ -квантами не относятся к реакциям /1-6/ из табл. 1. Если обсчитать такие взаимодействия по гипотезам, соответствующим реакциям 1-6, то получается, что в реакцию /1/ попадает около 1%, в реакцию /2/ - 2%, а в реакции /3÷6/ - не более /2÷3/% от всех событий с  $\gamma$ -квантами. Предположим худший вариант, состоящий в том, что кинематике реакций без образования  $\pi^0$ -мезонов удовлетворяют события, имеющие только один родившийся  $\pi^0$ -мезон. Как показывают оценки, доля таких взаимодействий среди событий без зарегистрированных в камере  $\gamma$ -квантов увеличивается по сравнению с другими каналами вдвое. Таким образом, вдвое придется увеличить и вышеприведенные проценты с тем, чтобы отнести их теперь уже к событиям без зарегистрированных в камере  $\gamma$ -квантов. Несмотря на то, что среди событий, в которых образовались  $\pi^0$ -мезоны, но не зарегистрированы  $\gamma$ -кванты, доля тех, которые удовлетворяют кинематике реакций 1-6, невелика, все же они составляют значительную часть выбранных событий. Процедура вычитания этих событий значительно увеличила ошибки в поперечных сечениях. В предпоследней колонке табл. 1 приведено количество событий, оставшихся в каждой реакции после вычитания указанных примесей, а также небольшой доли событий, составляющих взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов с "квазисвободными протонами".

Оценки примесей среди отобранных событий от взаимодействий на протонах, входящих в состав ядер угле-

Таблица 2

Частица	$\langle \Delta p / p \rangle$	Дисперсия
$\pi^-$ -мезоны	0,063	0,006
Протоны	0,034	0,002

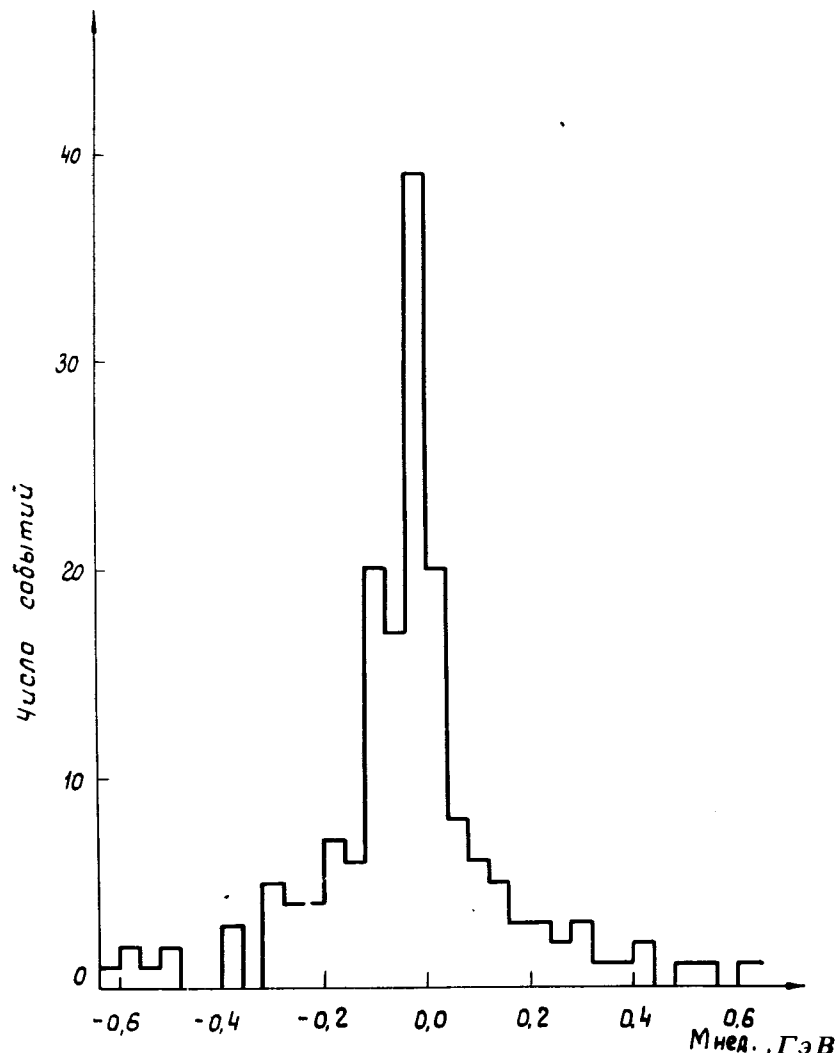


Рис. 3. Распределение недостающих масс для случаев упругого рассеяния  $\pi^-$ -мезонов на протонах при 40 ГэВ/с.

рода /“квазисвободных“/, были сделаны на основе расчетов, проведенных с учетом экспериментальных ошибок /табл. 2/ на смоделированных событиях /7/. Оказалось, что для реакций /1/, /2/ вкладом примесей ввиду их малости можно пренебречь, для других процессов они

составляют от 4 до 12% от отобранных событий в канале в зависимости от числа заряженных частиц в нем.

Количество событий, удовлетворяющих кинематике реакций 1-6, вообще-то очень мало по сравнению с количеством событий, подвергшихся проверке. Таким образом, программа довольно жестко отбирает события. Но если данное событие согласуется с кинематикой одной из гипотез, то часто /табл. 3/ проходят и альтернативные гипотезы, которые отличаются от первой только местоположением протона /т.е. тем, какая из положительных частиц принята за протон/.

В этих случаях применение дополнительных критериев - соответствие величины импульса протона ионизации его следа, а также решение в пользу гипотезы “ $\pi$ -мезон“ в тех случаях, когда импульс протона по величине больше 5 ГэВ/с, - значительно уменьшило число неразличимых гипотез.

Для упругих взаимодействий было получено распределение по квадратам переданных импульсов /точнее, по  $p_p^2 \approx t$ /, которое аппроксимировалось кривой вида  $\sim e^{-\Lambda t}$ ,

Таблица 3

Канал реакции	Число событий	Число событий, удовлетворяющих				
		одной,	двум,	трем,	четырем,	пяти гипотезам
		3	4	5	6	7
1	125	112	13	-	-	-
2	87	58	22	7	-	-
3	38	23	10	5	-	-
4	16	5	2	3	6	-
5	5	2	2	-	-	1
6	2	1	-	-	1	-

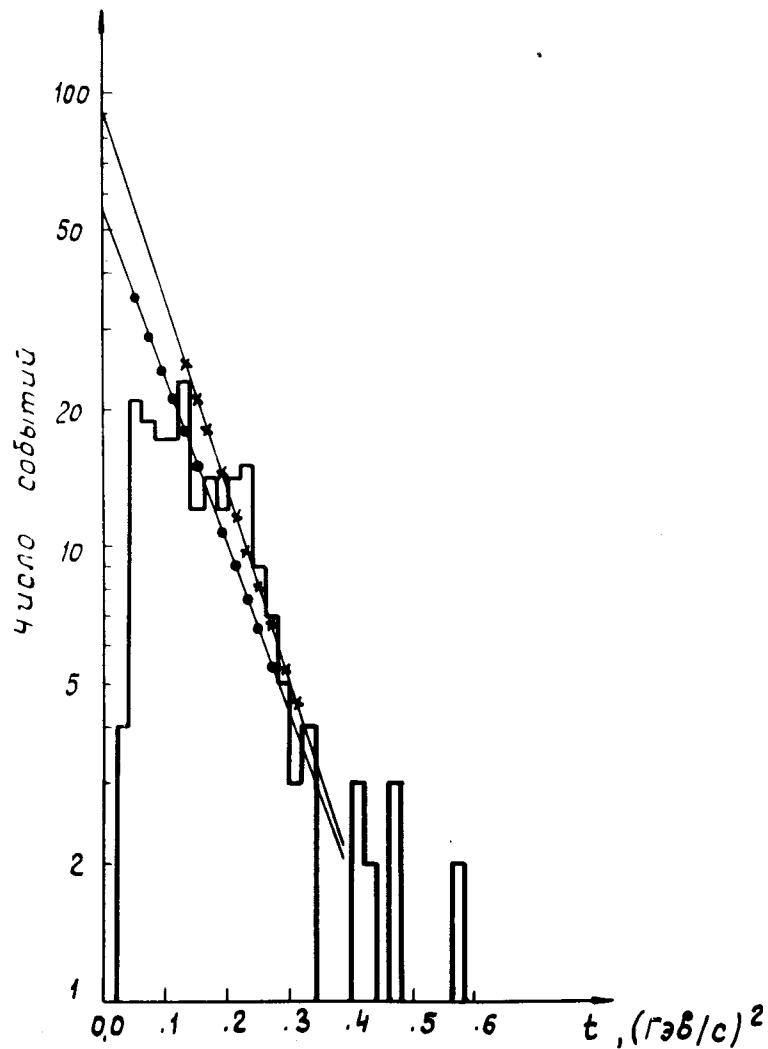


Рис. 4. Распределение по квадрату переданного импульса для случаев упругого рассеяния  $\pi$ -мезонов на протонах при 40 ГэВ/с. Темными кружками обозначена подобранная теоретическая функция вида  $e^{-\lambda t}$  для случая, когда не учтены точки до  $t = 0,05 / \text{ГэВ}/\text{с}^2$ , крестиком - когда не учтены точки до  $t = 0,09 / \text{ГэВ}/\text{с}^2$ .

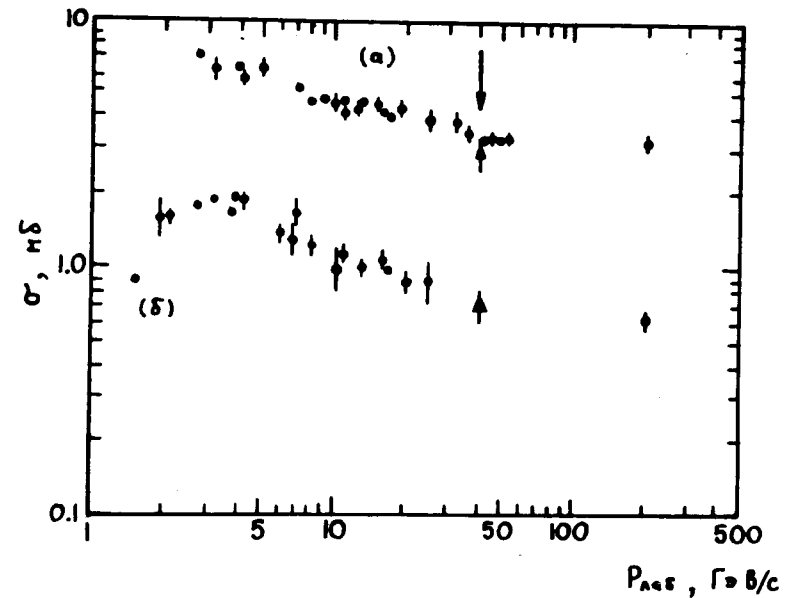


Рис. 5. Зависимость поперечных сечений от энергии /а/ для упругого  $\pi^-p$ -рассеяния, /б/ для реакции  $\pi^-p \rightarrow \pi^-\pi^+p$ .

причем наклон распределения принимался равным значению  $A = 8,05 / \text{ГэВ}/\text{с}^{-2}$ , известному из работы /8/ /рис. 4/. Таким путем были оценены потери событий с медленным протоном отдачи. Следует заметить, что протоны с импульсом  $p_{\text{лаб}} < 130 \text{ МэВ}/\text{с}$  имеют пробег в пропане меньше 1 мм и не могут быть зарегистрированы в камере. Протоны с  $130 < p_{\text{лаб}} < 300 \text{ МэВ}/\text{с}$  также имеют не 100%-ную эффективность обнаружения. Если для аппроксимации использовать все экспериментальное распределение, то  $\chi^2 = 26,5 / \text{на одну степень свободы}$  и потери составляют 50% от всех зарегистрированных событий. Качество подгонки значительно улучшается  $/\chi^2 = 10,4/$ , если не учитывать первые три точки распределения /до  $0,09 / \text{ГэВ}/\text{с}^2$ /. В этом случае потери составляют 78,5% от всех зарегистрированных событий /184±33 события/, а сечение упругого рассеяния  $\pi^-$ -ме-

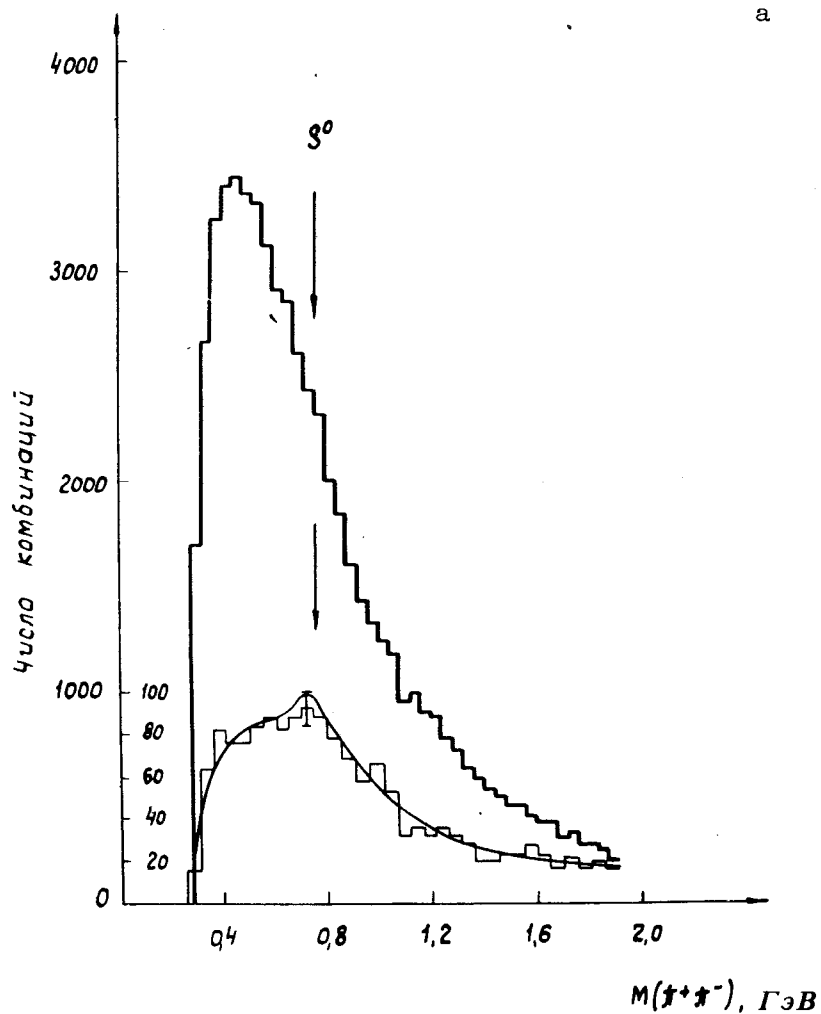
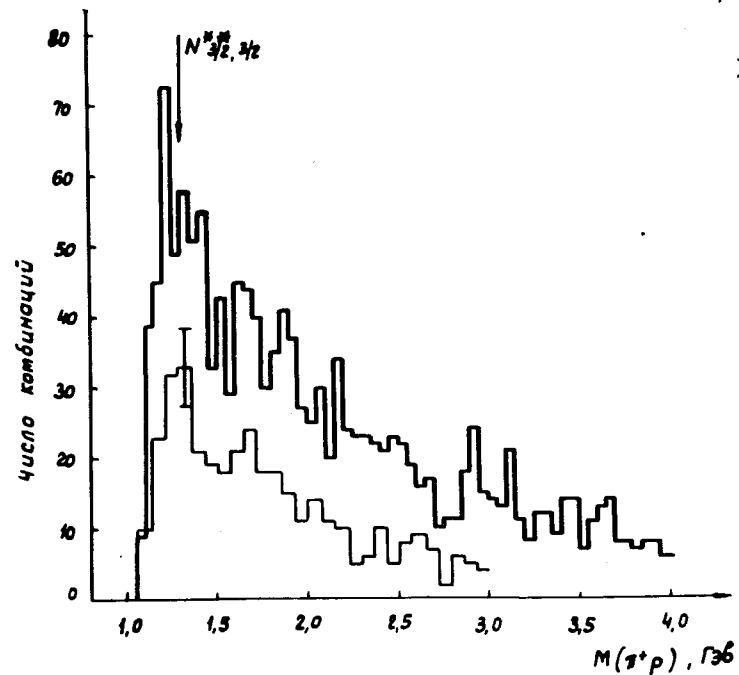
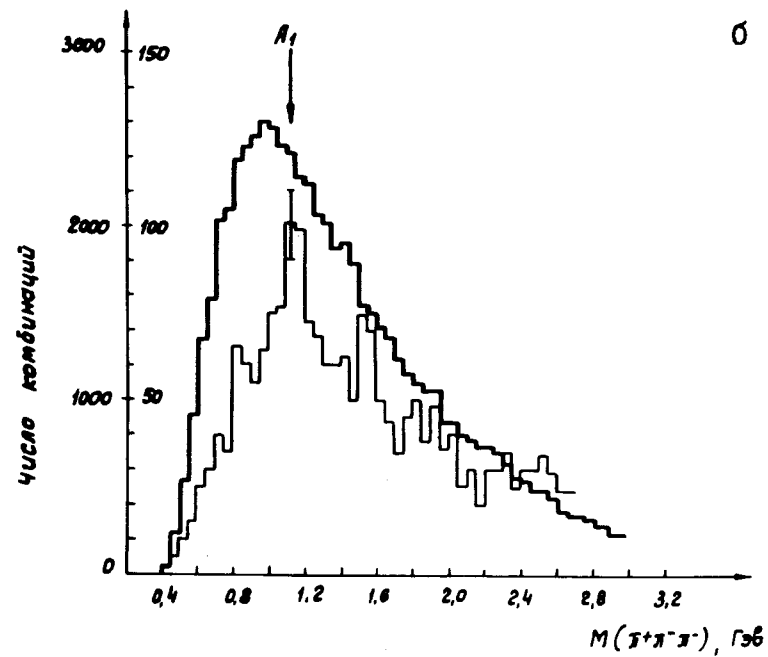


Рис. 6. Спектры эффективных масс: /а/  $\pi^+\pi^-$ -мезонов; /б/  $\pi^+\pi^-\pi^\pm$ -мезонов; /в/ - протонов и  $\pi^+$  мезонов. Внешние гистограммы соответствуют инклюзивным спектрам; внутренние - сумме эксклюзивных спектров. Сплошной кривой на рис. ба обозначена теоретическая кривая, описанная в тексте.





зонов на протонах при 40 ГэВ/с оказывается равным  $\sigma_{el} = 2,95 \pm 0,30$  мб. Это значение в пределах ошибок совпадает с данными более точных измерений /8/.

Нами были оценены значения сечений некоторых эксклюзивных реакций /табл. 1/. Поперечное сечение для реакции  $\pi^- p \rightarrow p \pi^+ 2\pi^-$ , полученное нами, хорошо вписывается в энергетическую зависимость сечений этой реакции, приведенную на рис. 5.

Для выделения неупругих эксклюзивных каналов были построены спектры эффективных масс различных комбинаций частиц. Однако из-за малого числа событий в каждом из каналов эксклюзивные спектры были затем просуммированы. На рис. 6 показаны некоторые из полученных распределений: для  $M_{\pi^+\pi^-}$  /рис. 6а/,  $M_{\pi^+\pi^-\pi^+}$  /рис. 6б/ и  $M_{p\pi^+}$  /рис. 6в/. Здесь же даны соответствующие инклюзивные спектры, построенные с использованием всех ~6000 событий. Очевидно, что в первом случае, т.е. для суммы небольшого числа эксклюзивных каналов, значительно лучше, чем в полных инклюзивных распределениях, просматриваются максимумы, соответствующие известным  $\rho^0$ ,  $A_1$ - и  $N_{3/2,3/2}^{*}$ -резонансам. Из-за слабой статистической обеспеченности результатов нет смысла проводить более глубокий их анализ. Здесь методом, описанным в /10/, проведена только оценка сечения образования  $\rho^0$ -мезона. В этом случае под экспериментальный спектр  $M_{\pi^+\pi^-}$  методом наименьших квадратов была подождена теоретическая кривая, включающая в себя фоновое распределение /спектр масс одноименных по заряду  $\pi$ -мезонов/, релятивистскую функцию Брейта-Вигнера для описания  $\rho^0$ -мезона, а также функцию /10/, отражающую влияние на спектр  $M_{\pi^+\pi^-}$  образования  $\omega$ -мезонов. Результаты показали, что вклад  $\omega$ -мезонов в события с  $\pi^0$ -мезонами - такие события, как видно из табл. 1, имеются среди выделенных реакций - не отличается от нуля в пределах ошибок  $\sigma_{\omega} = 0,19 \pm 0,40$  мб/, а сечение образования  $\rho^0$ -мезонов составляет  $\sigma_{\rho^0} = 0,83 \pm 0,30$  мб. Таким образом, можно заключить, что в обсуждаемых реакциях резонансы рождаются достаточно обильно. Например, доля  $\pi^+$ -мезонов от распада  $\rho^0$  составляет около 40% от всех рожденных  $\pi^+$ -мезонов.

В заключение авторы выражают свою глубокую благодарность всем физикам Сотрудничества по обработке фильмов с 2-метровой пропановой камеры за предоставленные материалы, а также доктору В.Г.Гришину за полезные обсуждения.

#### Литература

1. M.P.Balandin, N.G.Borisov et al. N.I.M., 20, 110 /1963/.
2. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, К.П.Вишневская и др. ЯФ, 17, 1235 /1973/; Nucl.Phys., B63, 114 /1973/.
3. А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, К.П.Вишневская и др. ЯФ, 18, 545 /1973/; Nucl. Phys., B72, 189 /1974/.
4. Н.Ангелов, К.П.Вишневская, В.Г.Гришин и др. ЯФ, 19, 2039 /1974/; Nucl. Phys., B74, 1 /1974/.
5. А.У.Абдурахимов, Нгуен Дин Ты, В.Н.Пенев. Сообщение ОИЯИ, 1-5140, Дубна, 1970.
6. N.O.Akhababian, L.D.Grekova et al. Bulgarian Journal of Phys., 6 /1975/.
7. Е.Н.Кладницкая, В.Е.Комолова и др. Сообщение ОИЯИ, 1-4468, Дубна, 1969.
8. Yu.M.Antipov, G.Ascoli et al. Nucl.Phys., B57, 333 /1973/.
9. H.H.Bingham et al. Pion and Nucleon Dissociation in  $\pi^- p \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^- p$  at 205 GeV/c, preprint LBL-2460, May, 1974.
10. Н.Ангелов, К.П.Вишневская и др. Сотрудничество Дубна - София. Сообщение ОИЯИ, P1-9536, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 марта 1976 года.