

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.



P1 - 6277

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО МНОЖЕСТВЕННОСТИ  
ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ В  $\pi^-p$ ,  $\pi^-n$  И  $\pi^-C$  -  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ИМПУЛЬСЕ  $p = 40$  Гэв/с

1972

P1 - 6277

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО МНОЖЕСТВЕННОСТИ  
ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ В  $\pi^+$ ,  $\pi^-$  И  $\pi^0$  -  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ИМПУЛЬСЕ  $p = 40$  ГэВ/с

*Направлено в Physics Letters*

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

Список авторов - на обороте титульного листа

А.У.Абдурахимов, Н.Ангелов, В.А.Беляков, К.П.Вишневская,  
В.Г.Гришин, Ш.В.Иногамов, Т.Канарек, А.А.Кузнецов, Е.Н.Кладницкая,  
Дж.М.Кохли\*, В.Б.Любимов, Н.Н.Мельникова, В.М.Попова, М.Сабэу,  
М.И.Соловьев, Л.Н.Смирнова, Х.Я.Супичаков, Ю.В.Тевзадзе,  
Н.Г.Фадеев, Б.С.Юлдашев, Г.Янчо

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Л.Йеник, Д.Киш, Ш.Красновски, Д.Пинтер  
Центральный институт физических исследований, Будапешт

О.Балеа, В.Болдеа, П.Понта, С.Фелеа  
Институт атомной физики, Бухарест

М.Бардадин-Отвиновска, В.Войцик, А.Врублевски, Р.Гокиели,  
А.Земински, Л.Михейда, Е.Петровска, С.Отвиновски, Р.Сосновски,  
М.Шептицка

Институт ядерных исследований и Институт физики Варшавского  
университета, Варшава

Л.Анела, Е.Бартке, В.Зелински, А.Квятковска, С.Ковальчик, К.Эскрейс  
Институт ядерной физики и Институт ядерной техники, Краков

В.В.Аммосов, А.П.Воробьев, Л.Н.Гердюков, П.А.Горичев,  
И.А.Данильченко, П.Ф.Ермолов, С.В.Клименко, Е.П.Кузнецов,  
Э.П.Кистенев, Б.А.Маниюков, В.В.Макеев, С.Н.Паршикура, А.М.Рыбин,  
А.Б.Фенюк, Е.Д.Щербаков

Институт физики высоких энергий, Серпухов

П.П.Керачев, В.Н.Пенев, Х.И.Семерджиев, А.И.Шкловская  
Физический институт и Машино-энергетический институт, София

К.Н.Абдуллаева, М.Азимова, С.А.Азимов, С.П.Батраев,  
К.Р.Игамбердыев, Х.А.Ризаев, Е.И.Трунова, Т.М.Усманов, А.А.Юлдашев  
Физико-технический институт АН УзССР, Ташкент

Л.Н.Абесалашвили, Н.С.Амаглобели, Д.В.Герсамия, М.А.Дасаева,  
Т.И.Квачадзе, Р.Г.Салуквадзе, И.И.Тулиани, М.С.Чаргейшвили,  
О.А.Шакулашвили, Ц.В.Хомасуридзе  
Тбилисский Государственный университет, Тбилиси

Ц.Баатар, Г.Шарху, Д.Тувдендорж, Б.Чадраа  
Институт физики и математики МАН, Улан-Батор.

Нгуен Дин Ты  
Ханойский университет, Ханой

\* Физический факультет Пенджабского университета, Чандигар, Индия

## 1. Введение

В настоящей статье представлены результаты по множественности вторичных частиц, образованных в  $\pi^-p$ -,  $\pi^-n$ - и  $\pi^-C$ -взаимодействиях при импульсе первичных  $\pi^-$ -мезонов  $p = 40$  Гэв/с. Предварительные результаты были доложены на Международной конференции в Амстердаме<sup>1/</sup>.

Двухметровая пропановая ( $C_3H_8$ ) пузырьковая камера ЛВЭ ОИЯИ экспонировалась в пучке отрицательных  $\pi^-$ -мезонов с импульсом  $(40 \pm 0,24)$  Гэв/с на серпуховском ускорителе. Камера была помещена в магнитное поле с  $\bar{H} \approx 15$  кгаусс. Дважды просмотрено около 50000 стереофотографий. Эффективность двойного просмотра оказалась равной  $\epsilon = 99,6\%$ , за исключением 0,1- и 2-лучевых событий, для которых введены соответствующие поправки. В выбранной эффективной области камеры на всем просмотренном материале найдено 11267 случаев взаимодействий. В соответствии со стандартными критериями отбора для пропановых камер из полного числа обнаруженных событий 5030 классифицированы как  $\pi^-p$ -взаимодействия, 2072 - как  $\pi^-n$  и 4165 случаев отнесены к  $\pi^-C$ -взаимодействиям.

К взаимодействиям типа  $\pi^-p$  относились события, в которых имеется четное число треков; суммарный заряд всех вторичных частиц

равен 0; число протонов равно нулю или единице; нет идентифицированного протона, летящего назад, а также блобов в точке взаимодействия. Взаимодействия типа  $\pi^-p$  имеют нечётное число треков, суммарный заряд минус единица, число протонов равно нулю или единице и в точке взаимодействия не должно быть блобов. Все события, не удовлетворяющие этим критериям, классифицировались как  $\pi^-C$ -взаимодействия.

## II. Распределения по множественности

### 1) $\pi^-p$ -события

На рис. 1а показано распределение по множественности заряженных частиц, образованных в  $\pi^-p$ -взаимодействиях<sup>х/</sup>.

Заштрихованная область соответствует вкладу случаев упругого рассеяния (около 25% всех 2-лучевых событий). Полное сечение упругого рассеяния получено путем экстраполяции данных при меньших энергиях и принято равным  $\sigma_{el}^{\pi^-p} = 3,5$  мбн. Согласно проведенным оценкам, в камере может наблюдаться только  $\approx 70\%$  случаев всех упругих взаимодействий.

Значения средних множественностей заряженных частиц  $\langle n_{\pm} \rangle$  приведены в таблице 1. Поправки, связанные с вторичными взаимодействиями, наличием  $\delta$ -электронов,  $\gamma$ -квантов и пар Далица вблизи точки взаимодействия, а также потерей медленных протонов, дают смещение значения  $\langle n_{\pm} \rangle$  на  $\Delta \langle n_{\pm} \rangle = -0,01$ , что и учтены в таблице 1. Увеличение средней множественности за счёт взаимодействий первичных пионов с квазисвободными протонами ядер углерода по проведенным оценкам составляет  $\Delta \langle n_{\pm} \rangle \approx +0,1$  (эта поправка не учтена в таблице).

Топологические сечения ( $\sigma_n$ ) для  $\pi^-p$ -взаимодействий приводятся в таблице II. Здесь исключены случаи упругого рассеяния.

<sup>х/</sup> Данные приведены по части статистики (92%).

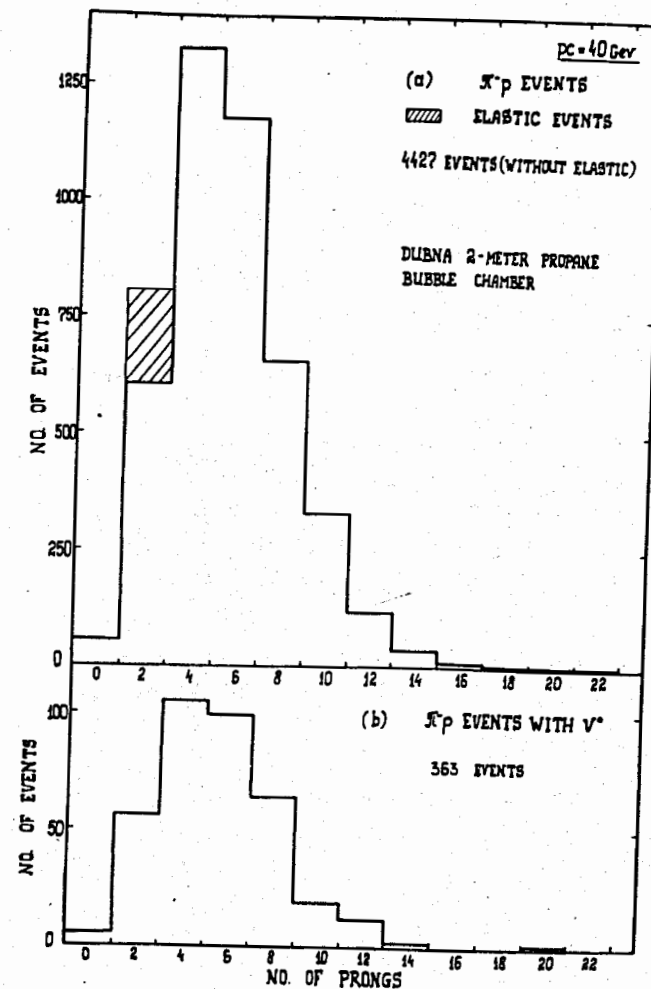


Рис. 1. Распределения по множественности заряженных частиц в  $\pi^-p$ -взаимодействиях: а) все события; б) события с  $V^0$ -частицами. Заштрихованная область - вклад упругого рассеяния.

Все оставшиеся события нормировались на полное сечение неупругих взаимодействий, которое было равно

$$\sigma_{inel}^{\pi^-p} = \sigma_{tot}^{\pi^-p} - \sigma_{el}^{\pi^-p} = 21,2 \pm 0,15 \text{ мбн}^{x/}$$

ТАБЛИЦА I.

Значения средних множественностей  $\langle n_{\pm} \rangle$  заряженных частиц в  $\Pi p$  и  $\Pi n$  - взаимодействиях.

Тип взаимодействия	$\langle n_{\pm} \rangle$	$\sqrt{D}^{*)}$	$\langle n_{\pm} \rangle / \sqrt{D}$
$\Pi p$ (все зарегистрированные события)	$5.45 \pm 0.04$	2.81	1.94
$\Pi p$ (без упругих событий)	$5.62 \pm 0.04$	2.77	2.02
$\Pi p$ (события с $V^0$ -частицами)	$5.56 \pm 0.15$	2.76	2.01
$\Pi n$ (все события)	$5.08 \pm 0.06$	2.73	1.86
$\Pi n$ (без когерентных событий)	$5.21 \pm 0.06$	2.79	1.87
$\Pi n$ (события с $V^0$ -частицами)	$5.70 \pm 0.23$	2.77	2.06

\*)  $D = (\langle n_{\pm}^2 \rangle - \langle n_{\pm} \rangle^2)$

ТАБЛИЦА II

Распределение событий по множественности заряженных частиц и топологические сечения в  $\Pi p$  и  $\Pi n$  - взаимодействиях.

$n_{\pm}$	$\Pi p$ -события (без упругих)			$\Pi n$ -события (без когерентных)		
	Число событий	Доля от всех событий (%)	Сечение $\sigma_n$ (в мбн)	Число событий	Доля от всех событий (%)	Сечение $\sigma_n$ (в мбн)
0	57	$1.3 \pm 0.17$	$0.28 \pm 0.04$	1	185	$9.4 \pm 0.69$
2	650	$14.7 \pm 0.58$	$3.12 \pm 0.13$	3	590	$30.1 \pm 1.24$
4	1328	$30.0 \pm 0.82$	$6.36 \pm 0.18$	5	495	$25.3 \pm 1.14$
6	1179	$26.7 \pm 0.78$	$5.66 \pm 0.17$	7	370	$18.9 \pm 0.98$
8	707	$16.0 \pm 0.60$	$3.39 \pm 0.13$	9	199	$10.2 \pm 0.72$
10	331	$7.5 \pm 0.41$	$1.59 \pm 0.09$	11	89	$4.5 \pm 0.48$
12	123	$2.8 \pm 0.25$	$0.59 \pm 0.05$	13	25	$1.3 \pm 0.26$
14	37	$0.8 \pm 0.14$	$0.17 \pm 0.03$	15	5	$0.3 \pm 0.11$
16	8	$0.18 \pm 0.06$	$0.04 \pm 0.01$	17	0	0
18	4	$0.09 \pm 0.05$	$0.02 \pm 0.01$	19	1	$0.05 \pm 0.05$
20	2	$0.05 \pm 0.03$	$0.011 \pm 0.006$			
22	1	$0.02 \pm 0.02$	$0.005 \pm 0.005$			
Все события: 4427	100		$21.2 \pm 0.15$	Все события: 1959	100	$19.6 \pm 0.3$

На рис. 16 приводится распределение по множественности заряженных частиц в событиях, где имеется хотя бы одна визуально идентифицированная  $V^0$ -частица. Значение  $\langle n_{\pm} \rangle$  для этих случаев дано в таблице I. Следует отметить, что эффективность регистрации  $V^0$ -частиц в камере составляет  $\epsilon_{V^0} \geq 80\%$ . Значения  $\langle n_{\pm} \rangle$  в событиях без странных частиц и с ними совпадают в пределах ошибок.

## 2. $\pi^-n$ - события

Распределение по множественности заряженных частиц, образованных в  $\pi^-n$ -взаимодействиях, показано на рис. 2а. Область, заштрихованная на рисунке, соответствует вкладу когерентных взаимодействий ( $\approx 17\%$  от 3-лучевых событий). Сечение когерентного образования трех заряженных  $\pi$ -мезонов на ядрах углерода принималось равным  $\sigma_{cob} = 2,5$  мбн по экстраполяции экспериментальных данных. Значения  $\langle n_{\pm} \rangle$  для всех  $\pi^-n$ -событий и без когерентных приведены в таблице I<sup>хх/</sup>. Ошибки

х/ Полные сечения  $\pi p$ - и  $\pi n$ -взаимодействий при 40 Гэв/с равны:  $\sigma_{tot}^{\pi^-p} = 24,7 \pm 0,15$  мбн и  $\sigma_{tot}^{\pi^-n} = 23,1 \pm 0,3$  мбн<sup>2/</sup>.

хх/ В однолучевые  $\pi^-n$ -события могут дать вклад когерентные процессы типа  $\pi^-C^{12} \rightarrow (\pi^- \pi^0 \pi^0) C_6^{12}$ . Вклад таких событий можно оценить, исходя из статистической изоспиновой модели<sup>3/</sup>. Расчёты по этой модели дают отношение

$$\frac{\sigma(\pi^-C \rightarrow \pi^- \pi^+ \pi^- C)}{\sigma(\pi^-C \rightarrow \pi^- \pi^0 \pi^0 C)} = 1,5.$$

В таком случае для значения  $\langle n_{\pm} \rangle$  в  $\pi^-n$ -взаимодействиях получается  $\langle n_{\pm} \rangle = 5,40 \pm 0,07$ .

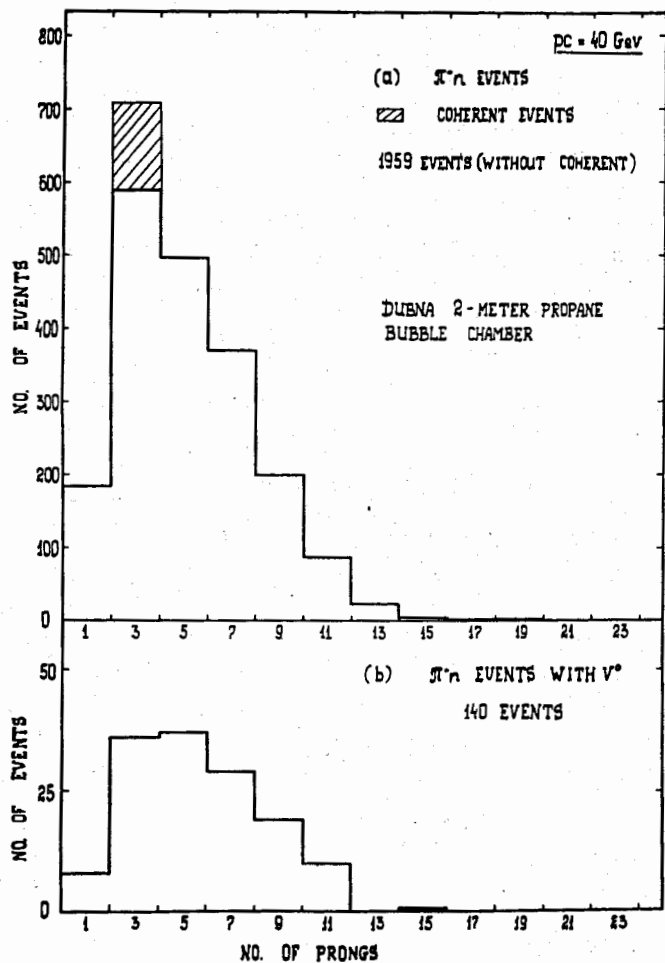


Рис. 2. Распределения по множественности заряженных частиц в  $\pi^-n$ -взаимодействиях: а) все события; б) события с  $V^0$ -частицами. Заштрихованная область - вклад когерентных взаимодействий на ядрах углерода  $\pi^-C \rightarrow (\pi^-\pi^+\pi^-)C$ .

в  $\langle n_{\pm} \rangle$  являются статистическими. Однолучевые события регистрировались в камере с  $\theta \geq 1^\circ$ . На рис. 2б приводится распределение по множественности заряженных частиц в  $\pi^-n$ -событиях, где имеется хотя бы одна визуально идентифицированная  $V^0$ -частица. Значение  $\langle n_{\pm} \rangle$  для этих взаимодействий дано в таблице I. В таблице II даются топологические сечения неупругих  $\pi^-n$ -взаимодействий. Все события нормировались на полное сечение неупругих  $\pi^-n$ -взаимодействий  $\sigma_{inel}^{\pi^-n} = \sigma_{tot}^{\pi^-n} - \sigma_{el}^{\pi^-n} = 19,6 \pm 0,3$  мбн. Полное сечение упругого  $\pi^-n$ -рассеяния принято равным  $\sigma_{el}^{\pi^-n} = \sigma_{el}^{\pi^-p} = 3,5$  мбн. Полученные в настоящей работе распределения по множественности в  $\pi^-p$ - и  $\pi^-n$ -соударениях хорошо описываются эмпирической формулой, предложенной в работе /4/.

### 3. $\pi^-C$ -взаимодействия

В таблице III приведены данные по средней множественности релятивистских треков в зависимости от числа медленных протонов для соударений  $\pi^-$ -мезонов с ядрами углерода <sup>x/</sup>.

Средняя множественность релятивистских треков составляет  $\langle n_{\pm} \rangle_{\text{рел}} = 6,54 \pm 0,05$ . Среднее число всех вторичных заряженных частиц в таких событиях оказалось равным  $\langle n_{\pm}^{\pi^C} \rangle = 7,21 \pm 0,04$ . В таблице IV приводятся аналогичные данные для взаимодействий  $\pi^-$ -мезонов с ядрами углерода за исключением  $\pi^-p$ - и  $\pi^-n$ -соударений на квазисвободных нуклонах. Интересно отметить отсутствие зависимости  $\langle n_{\pm} \rangle_{\text{рел}}$  от числа медленных протонов.

<sup>x/</sup> К соударениям  $\pi^-$ -мезонов с ядрами углерода по нашей классификации относятся  $\pi^-C$ -события,  $\pi^-n$  - и часть  $\pi^-p$ -событий на квазисвободных нуклонах.

ТАБЛИЦА III

Значения средних множественностей заряженных релятивистских частиц в соударениях  $\Pi^-$ -мезонов с ядрами углерода в зависимости от числа медленных протонов.

Число медленных протонов	% от всех $\Pi^-$ -событий	Среднее число релятивистских треков
0	55.7 %	$6.02 \pm 0.05$
1	25.2 %	$6.87 \pm 0.09$
2	12.0 %	$7.58 \pm 0.12$
3	5.0 %	$7.83 \pm 0.19$
$\geq 4$	2.1 %	$7.44 \pm 0.29$
Все события	100	

ТАБЛИЦА IV

Средние множественности заряженных релятивистских частиц в  $\Pi^-$ -взаимодействиях (исключены  $\Pi^-p$  и  $\Pi^-n$  события на квазисвободных нуклонах ядер углерода)

Число медленных протонов	% от всех $\Pi^-$ -событий	Среднее число релятивистских треков
0	27.1	$7.80 \pm 0.10$
1	35.7	$7.46 \pm 0.09$
2	23.6	$7.58 \pm 0.12$
3	9.6	$7.83 \pm 0.19$
$\geq 4$	4.0	$7.44 \pm 0.29$
Все события	100	

III. Зависимость среднего числа гамма-квантов от множественности заряженных частиц в  $\pi^-p$ - и  $\pi^-n$ -взаимодействиях

В настоящей работе регистрировались электрон-позитронные пары, смотрящие в точку взаимодействия. На рис. 3а и 3б приводятся зависимости среднего числа гамма-квантов  $\langle n_\gamma \rangle$ , найденных при просмотре, от множественности заряженных частиц в  $\pi^-p$ - и  $\pi^-n$ -взаимодействиях, соответственно. Чёрными кружками нанесены значения  $\langle n_\gamma \rangle$  без вычитания вклада от упругих (в  $\pi^-p$ ) и когерентных (в  $\pi^-n$ )-взаимодействий<sup>x/</sup>. Видно, что с увеличением множественности наблюдается рост среднего числа зарегистрированных гамма-квантов. Значения  $\langle n_\gamma \rangle$  даны без учёта эффективности регистрации гамма-квантов. Однако, как показывают измерения, средние веса гамма-квантов в пределах 10% не зависят от  $n_\pm$ . В связи с этим введение поправок на эффективность регистрации гамма-квантов существенно не изменит хода зависимости.

Авторы выражают благодарность коллективу группы 2-метровой пропановой камеры ОИЯИ и сотрудникам ИФВЭ за проведение облучения. Мы также признательны нашим лаборантам за большую помощь, оказанную при выполнении настоящей работы.

<sup>x/</sup> События от когерентных взаимодействий типа  $\pi^-C \rightarrow (\pi^- \pi^0 \pi^0)C$  не учитывались.

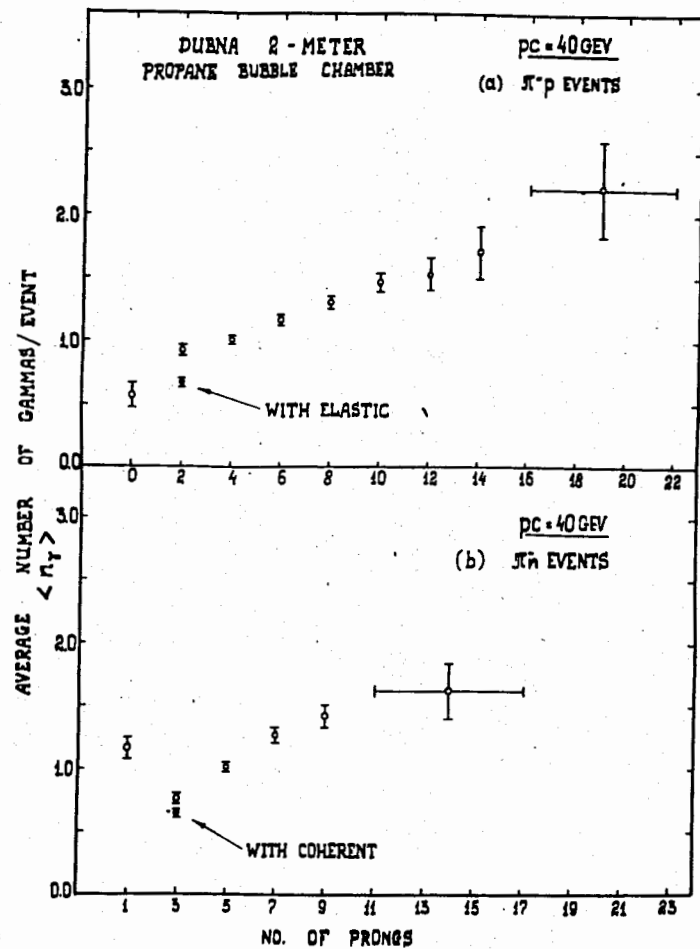


Рис. 3. Зависимость среднего числа  $\gamma$ -квантов от множественности вторичных заряженных частиц: а)  $\pi^-p$ -взаимодействия ( $l$  - с упругими  $\pi^-p$ -событиями); б)  $\pi^-p$ -взаимодействия ( $l$  - с когерентными взаимодействиями  $\pi^-C \rightarrow (\pi^- \pi^+ \pi^-)C$ ).

1. Budapest - Bucharest - Warsaw - Dubna - Kracow - Serpukhov - Tashkent - Tbilisi - Ulan-Bator Collaboration. Paper presented at the Int. Conf. on Elementary Particles, Amsterdam, 1971.
2. CERN - Serpukhov Collaboration. Phys. Lett., 30, 500 (1969).
3. С.З. Белецкий, В.М. Максименко, А.И. Никишов, И.Л. Розенталь. УФН, 82, вып. 2, 1 (1957).  
F. Cerulus. Nuovo Cim., 19, 528 (1961);  
I. Bartke, O. Czyzewski. Nucl. Phys., B5, 585 (1968).
4. O. Czyzewski, K. Rybicki. Report No 703/PH, INP, 1970, Kracow.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 февраля 1972 года.