



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P1-86-459

ИССЛЕДОВАНИЕ  $p\pi$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ  
ПРИ  $P_p = 10$  ГэВ/с С ИСПУСКАНИЕМ  
КУМУЛЯТИВНЫХ НЕЙТРАЛЬНЫХ ПИОНОВ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1986

Д. Армутлийски, Е. Богданович, А. П. Гаспарян, В. Г. Гришин,  
Л. А. Диденко, И. А. Ивановская, Т. Канарек, Е. Н. Кладницкая,  
Д. К. Копылова, В. Б. Любимов, Г. М. Манева, К. Миллер, В. Ф. Никитина,  
Я. Плюта, М. И. Соловьев, П. П. Темников, Р. Тогоо, А. П. Чеплаков  
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Г. Н. Агакишиев, Р. Р. Мехтиев  
Институт физики АН АзССР, Баку

В. М. Попова, А. Н. Соломин, Г. П. Тонеева, Л. М. Щеглова  
Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

Р. Н. Бекмирзаев, М. М. Муминов, У. Р. Шеркулов  
Самаркандский государственный университет

Н. С. Григалашвили, З. В. Метревели  
Научно-исследовательский институт физики высоких энергий ТГУ,  
Тбилиси

## ВВЕДЕНИЕ

В работе приведены результаты исследования рС-взаимодействий, сопровождающихся испусканием кумулятивных  $\Pi^0$ -мезонов. В настоящее время имеются опубликованные данные по анализу адрон-ядерных столкновений с испусканием заряженных кумулятивных пионов /1+5/. Результатов, относящихся к событиям с испусканием нейтральных кумулятивных пионов, нет. Имеются только данные по анализу инклюзивных спектров кумулятивных  $\Pi^0$ -мезонов /4,6/.

Исследования выполнены на 2-метровой пропановой камере, облученной пучком протонов с  $P_p = 10$  ГэВ/с на ускорителе Лаборатории высоких энергий ОИИИ. Результаты получены на основе анализа взаимодействий первичных протонов в пропане, сопровождающихся испусканием в заднюю полусферу (ЗП) лабораторной системы координат (ЛСК) хотя бы одного  $\gamma$ -кванта с энергией  $E_\gamma > 100$  МэВ ("триггерные"  $\gamma$ -кванты). Для этого было просмотрено  $\sim 100$  тыс. взаимодействий первичных протонов в пропане и отобрано 656 событий с "триггерными"  $\gamma$ -квантами. В отобранных событиях все отрицательные частицы считались  $\Pi^-$ -мезонами. Среди положительных частиц производилась визуальная (по ионизации) идентификация  $\Pi^+$ -мезонов, протонов (для частиц с импульсом  $P \lesssim 0,8$  ГэВ/с) и дейтронов (для частиц с  $P = 1+2$  ГэВ/с). Остальные положительные частицы не идентифицировались. В отобранных событиях регистрировались и измерялись сопутствующие  $\gamma$ -кванты, причем для всех  $\gamma$ -квантов определялся вес, связанный с эффективностью их регистрации.<sup>х)</sup>

Для выделения нужных событий необходимо было разработать критерии отбора неупругих рС-столкновений из всех взаимодействий первичных протонов в пропане и критерии отбора событий с испусканием кумулятивных  $\Pi^0$ -мезонов;  $\Pi^0$ -мезон считался кумулятивным, если для него величина  $\beta^0 = (E - P_{||})/m_N$  превышала значение  $\beta^0_p = 0,6/1$ . Здесь  $E$  и  $P_{||}$  - полная энергия и продольный импульс  $\Pi^0$ -мезона в ЛСК,  $m_N$  - масса нуклона. Разработанные критерии отбора и анализа их эффективности изложены в следующем разделе. События, имеющие кроме "триггерного"  $\gamma$ -кванта заряженные пионы с  $\beta^0 > 0,6$  или протоны с  $\beta^0 > 1,4$ , в настоящей работе не рассматривались. Они вошли в статистику кумулятивных рС-взаимодействий, результаты анализа которых опубликованы в /4/.

х) Подробности отбора и обработки  $\gamma$ -квантов можно найти в работе /7/.

## ОТБОР СОБЫТИЙ

Для разработки критериев отбора неупругих рС-столкновений с испусканием кумулятивных  $\Pi^0$ - мезонов были использованы данные, полученные в результате регистрации и измерений всех взаимодействий первичных протонов в пропане (2707 событий).

1. Из общих соображений для отбора неупругих рС-столкновений требовалось выполнение хотя бы одного из условий:

$$n_+ - n_- > 2 \quad (K1)$$

$$n_p > 1 \quad (K2)$$

$$n_p(ЗП) > 0 \quad (K3)$$

$$n_- > 2 \quad (K4)$$

$$n_{ch} - \text{нечетно} \quad (K5)$$

$$n_d > 0 \quad (K6)$$

Здесь  $n_{ch}$  - число всех заряженных частиц в рассматриваемом событии,  $n_+$  и  $n_-$  - число положительных и отрицательных частиц в нём,  $n_p$  и  $n_d$  - число идентифицированных протонов и дейтронов,  $n_p(ЗП)$  - число протонов, испущенных в ЗП ЛСК. Эти критерии аналогичны использованным в работе /8/, где проведен анализ эффективности отбора неупругих рС-взаимодействий при  $P_p=4,2$  ГэВ/с, и поэтому не требуют специального обсуждения. Кроме них мы использовали еще один критерий, связанный с определением нижней границы эффективной массы мишени /9/. Для каждого события, не удовлетворяющего указанным выше критериям  $K1+K6$ , вычислялась величина  $M_t = \sum_i (E_i - p_{zi})$ , и события с  $M_t > \overline{M}_t$  (K7) относились к группе неупругих рС-столкновений. Здесь суммирование производится по всем вторичным заряженным частицам с полной энергией  $E_i$  и продольным импульсом в ЛСК  $p_{zi}$ ,  $\overline{M}_t$  - среднее значение величины  $M_t$  для событий данной топологии. При вычислении  $M_t$  все неидентифицированные положительные частицы считались протонами.

Эффективность выделения неупругих рС-столкновений с использованием всех критериев  $K1+K7$  оказалась близкой к единице (0,99). Оценки эффективности были проведены с использованием данных по сечениям рС - и рр - взаимодействий при  $P_p = 10$  ГэВ/с, опубликованных в /10/.

2. Для определения условий отбора событий с кумулятивными  $\Pi^0$ - мезонами был сделан кинематический анализ  $\gamma$ - квантов от распада  $\Pi^0$ - мезонов. При этом  $\Pi^0$ - мезонам были приписаны кинематические характеристики  $\Pi^-$ -мезонов из имеющихся в нашем распоряжении всех неупругих рС-взаимодействий при  $P_p=10$  ГэВ/с. Расчеты проводились следующим образом. Каждый измеренный  $\Pi^-$ -мезон с его импульсом и углом испускания в ЛСК считался " $\Pi^0$ -мезоном". Для получения кинема-

тических характеристик  $\gamma$ - квантов в ЛСК многократно разыгрывались случайным образом углы распада " $\Pi^0$ -мезона" в его системе покоя и положение плоскости его распада. Всего для каждого " $\Pi^0$ - мезона" было получено 50 распадных  $\gamma$ - квантов.

Анализ показал, что  $\sim 1,5\%$   $\gamma$ - квантов от распада некумулятивных  $\Pi^0$ - мезонов ( $\Pi^0$ - мезонов с  $\beta^0 < 0,6$ ) попадают в область "триггерных"  $\gamma$ - квантов ( $\gamma$ - квантов, испущенных в ЗП с  $E_\gamma > 100$  МэВ). Они составляют при этом  $\sim 60\%$  от "триггерных"  $\gamma$ - квантов, соответствующих кумулятивным  $\Pi^0$ - мезонам ( $\Pi^0$ - мезонам с  $\beta^0 > 0,6$ ). Если ограничиться "триггерными"  $\gamma$ - квантами, удовлетворяющими дополнительному условию

$$E_\gamma > (0,35 + 0,5 \cos \theta) \text{ ГэВ}, \quad (-0,5 \leq \cos \theta \leq 0), \quad (I)$$

где  $\theta$  - угол испускания  $\gamma$ - кванта в ЛСК, то примесь в них  $\gamma$ - квантов от распада некумулятивных  $\Pi^0$ - мезонов снижается до уровня  $\sim 3\%$ . При этом регистрируется  $\sim 60\%$  кумулятивных  $\Pi^0$ -мезонов.

В результате использования условий  $K1+K7$  для отбора неупругих рС - столкновений и условия (I) для отбора событий с кумулятивными  $\Pi^0$ - мезонами для последующего анализа выделено 381 взаимодействие. Для каждого события был вычислен статистический вес, равный весу  $\gamma$ -кванта, по которому взаимодействие было зарегистрировано.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Полученные данные об эффективности отбора неупругих рС-столкновений и регистрации в них кумулятивных  $\Pi^0$ - мезонов позволили определить сечение таких взаимодействий ( $\sigma_{\Pi^0}$ ). Найдено  $\sigma_{\Pi^0} \langle n \rangle_{\Pi^0} = (5,7 \pm 0,9)$  мб, что в пределах ошибок совпадает с результатом для рС - взаимодействий с рождением заряженных кумулятивных пионов:

$\sigma_{\Pi^\pm} \langle n \rangle_{\Pi^\pm} = (6,2 \pm 0,3)$  мб. Здесь  $\langle n \rangle_{\Pi^0} (\langle n \rangle_{\Pi^\pm} = \langle n \rangle_{\Pi^+} + \langle n \rangle_{\Pi^-})$  - средняя множественность кумулятивных  $\Pi^0$ -мезонов ( $\Pi^\pm$ - мезонов) в событиях, в которых зарегистрирован хотя бы один кумулятивный  $\Pi^0$ - мезон ( $\Pi^\pm$ - мезон). Оказалось, что  $\langle n \rangle_{\Pi^\pm} = 1,0 \pm 0,1$ , т.е.

$\sigma_{\Pi^\pm} = (6,2 \pm 0,4)$  мб. Отметим, что величины  $\sigma_{\Pi^\pm}$  и  $\langle n \rangle_{\Pi^\pm}$  получены на основе анализа всех взаимодействий первичных протонов в пропане (2707 событий). Если предположить, что  $\langle n \rangle_{\Pi^0} = \langle n \rangle_{\Pi^\pm}$ , то для сечения рС-взаимодействий с рождением кумулятивных  $\Pi^0$ - мезонов получаем  $\sigma_{\Pi^0} = (5,7 \pm 1,0)$  мб.

2. В таблице приведены результаты по средним характеристикам вторичных заряженных частиц в отобранных кумулятивных взаимодействиях. В этой же таблице для сравнения показаны опубликованные данные /4/, полученные для рС- взаимодействий при 10 ГэВ/с с испусканием заряженных кумулятивных пионов. Видно, что по всем характеристикам рС-взаимо-

действия, отобранные как по заряженным, так и по нейтральным кумулятивным пионам, оказываются близкими друг к другу.

Таблица  
Характеристики вторичных частиц в pC-взаимодействиях при 10 ГэВ/с с испусканием кумулятивных  $\Pi^0$ - мезонов

тип соон- характеристики	тип соон- характеристики	рС	рС
		с кумулятивным $\Pi^0$	с кумулятивным $\Pi^\pm$ /4/
$\Pi^-$	$\langle P \rangle$ (ГэВ/с)	$0,80 \pm 0,04$	$0,74 \pm 0,04$
	$\langle \theta \rangle$ (рад)	$0,67 \pm 0,04$	$0,86 \pm 0,03$
	$\langle y \rangle$	$1,14 \pm 0,04$	$0,95 \pm 0,05$
	$\langle n \rangle$	$1,21 \pm 0,05$	$1,19 \pm 0,05$
$\Pi^+$	$\langle n \rangle$	$0,99 \pm 0,05$	$1,14 \pm 0,05$
$\Pi^0$	$\langle n \rangle$	$1,41 \pm 0,14$	$1,37 \pm 0,08$
P	$\langle n \rangle$	$2,31 \pm 0,09$	$2,00 \pm 0,07$
Лидирующий адрон*)	$\langle P \rangle$ (ГэВ/с)	$6,07 \pm 0,22$	$5,94 \pm 0,21$
	$\langle \theta \rangle$ (рад)	$0,099 \pm 0,009$	$0,091 \pm 0,006$
	$\langle n \rangle$	$0,24 \pm 0,02$	$0,31 \pm 0,02$
$\langle P_L \rangle$ для частиц с $p > 0,7$ ГэВ/с разного знака	"+"	$0,55 \pm 0,01$	$0,51 \pm 0,01$
	"-"	$0,45 \pm 0,02$	$0,41 \pm 0,02$

\*) Как и в работе /4/, в качестве лидирующего рассматривался адрон с наибольшим импульсом среди положительных вторичных частиц и имеющий в с.ц.и. протон-нуклон значение величины  $X^* = 2P_n^*/\sqrt{s} > 0,2$ .

3. Зарегистрированные в отобранных событиях сопутствующие  $\chi$ -кванты позволили получить сведения о множественности и энергетических характеристиках вторичных (некумулятивных)  $\Pi^0$ -мезонов. Данные по множественности этих мезонов приведены в таблице. Для значения средней энергии, идущей на образование  $\Pi^0$ - мезонов, получено

$$\langle E_{\pi^0} \rangle_{tot} = (1,37 \pm 0,37) \text{ ГэВ, что в пределах ошибок согласуется}$$

с результатом для pC - взаимодействий с испусканием заряженных кумулятивных пионов:  $\langle E_{\pi^\pm} \rangle_{tot} = (1,08 \pm 0,10) \text{ ГэВ}$  и значением для средней энергии, идущей на образование  $\Pi^-$ - мезонов в этих взаимодействиях /4/ :  $\langle E_{\pi^-} \rangle_{tot} = (1,01 \pm 0,05) \text{ ГэВ}$ .

Авторы благодарны коллективу Сотрудничества за обсуждения, лаборантам Матасовой Н.В., Журавлевой Т.А., Миролубовой И.А., Злобиной Л.И., проделавшим большую работу по просмотру и записи событий на ленту суммарных результатов, а также другим лаборантам, участвовавшим в просмотре стереофотоснимков.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Аношин А.И. и др. ОИИ, PI-80-716, Дубна, 1980; ОИИ, I-8I-214, Дубна, 1981; ОИИ, EI-82-352, Дубна, 1982; ЯФ, 1982, т.36, с.409.
2. Агакишиев Г.Н. и др. ОИИ, PI-83-327, Дубна, 1983.
3. Баатар Ц. и др. ОИИ, PI-85-698, Дубна, 1985.
4. Армутлийски Д. и др. ОИИ, PI-85-939, Дубна, 1985.
5. Копылова Д.К. и др. ОИИ, PI-86-146, Дубна, 1986; ОИИ, PI-86-252, Дубна, 1986.
6. Аствацатуров Р.Г. и др. ОИИ, PI-8I-125, Дубна, 1981; ЯФ, 1981, т.34, с.1504.
7. Абпурахимов А.У. и др. ОИИ, PI-6928, Дубна, 1973; ЯФ, 1973, т.17, с.1235.
8. Армутлийски Д. и др. ОИИ, PI-86-263, Дубна, 1986.
9. Биргер Н.Г., Смородин Ю.А. ЖЭТФ, 1959, т.36, с.1159.
10. Бобченко Б.М. и др. ИТЭФ-15, Москва, 1979.
11. Flaminio V. et al. Compilation Cross Section, CERN-HERA, 84-03, Geneva, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 июля 1986 года.

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Армутлийски Д. и др. P1-86-459  
Исследование pC-взаимодействий  
при  $P_p = 10$  ГэВ/с с испусканием кумулятивных  
нейтральных пионов

На стереофотоснимках с 2-метровой пропановой камеры проведен отбор и исследование pC-взаимодействий при  $P_p = 10$  ГэВ/с, сопровождающихся испусканием кумулятивных  $\pi^0$ -мезонов. По всем изученным параметрам /сечения, множественности, угловые и импульсные характеристики вторичных частиц/ эти столкновения оказываются близкими к pC-взаимодействиям при  $P_p = 10$  ГэВ/с с испусканием заряженных кумулятивных пионов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Armutlijski D. et al. P1-86-459  
Investigation of pC-Interaction  
at  $P_p = 10$  GeV/c with the Emission  
of Cumulative Neutral Pions

Selection and investigation of pC-interactions at  $P_p = 10$  GeV/c accompanied by cumulative  $\pi^0$ -meson emission have been made using stereoscopic pictures from the 2-meter propane bubble chamber. These 10 GeV/c interactions are similar to pC-ones with charge cumulative pion emission in all parameters (cross section, multiplicity, angular and momentum characteristics of secondary particles) under study.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986