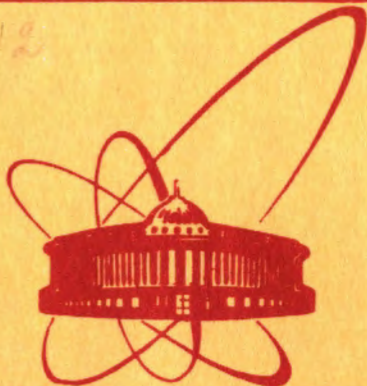


9/VI - 80



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2468/2-80

1-80-111

Ц.Баатар, А.П.Гаспарян, Г.Г.Гафуров,
Н.С.Григалашвили, С.А.Корчагин, Р.Р.Мехтиеv,
А.П.Чеплаков

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ π^- -МЕЗОНОВ
В НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРОТОНОВ
С ЯДРАМИ УГЛЕРОДА И ТАНТАЛА
В ИНТЕРВАЛЕ ИМПУЛЬСОВ $/2 \div 10/$ ГэВ/с

Направлено в ЯФ

1980

1. Введение

В настоящее время экспериментальные данные по множественному образованию π -мезонов в протон-ядерных столкновениях практически^{/1/} отсутствуют. С другой стороны, такие данные необходимы для исследований взаимодействий релятивистских ядер с ядрами. Кроме этого, соударения элементарных частиц с ядрами, в принципе, позволяют получить информацию о пространственно-временной картине взаимодействия.

В данной работе представлены экспериментальные характеристики распределений по числу рожденных π^- -мезонов при неупругих столкновениях протонов с ядрами углерода и тантала в интервале импульсов $P_p = /2,3; 4,2; 5,4; 9,9/$ ГэВ/с. Проводится их сравнение с соответствующими характеристиками pN - взаимодействий.

2. Методика получения экспериментальных данных

Эксперимент^{/2/} выполнен с помощью 2-метровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЗ ОИЯИ, в рабочем объеме которой была размещена мишень, состоящая из трех танталовых пластин, толщиной 1 мм. Облучение производилось при следующих значениях импульса $P_p = /2,3; 4,2; 5,4; 9,9/$ ГэВ/с. События от взаимодействия с танталом и пропаном отбирались по визуальным критериям. Всего было найдено 7060 событий в пропане и 2560 - в тантале.

Все отрицательные частицы в звезде, кроме идентифицированных электронов, считались π^- -мезонами. Примесь неидентифицированных электронов к π^- -мезонам не превышала 3% для событий в тантале и практически отсутствовала для звезд в пропане. Средний граничный импульс детектирования, начиная с которого π^- -мезоны уверенно идентифицировались, равен $P_{min} = 70$ МэВ/с для звезд в пропане и $P_{min} = 80$ МэВ/с для событий в тантале.

Визуальный отбор звезд в пластинках приводил к определенной примеси событий, образованных в результате взаимодействия в пропане вблизи пластин. Примесь составляла^{/3/} $/7+2/$ % и вычиталась из суммарного распределения для звезд, отнесенных по визуальным критериям к взаимодействиям в тантале. Для этих событий делалась поправка^{/4/} на потерю взаимодействий прото-



нов с квазисвободным нуклоном ядра тантала. Суммарная поправка в наблюдаемое число событий в тантале не превышала 5%.

Для получения распределений по множественности π^- -мезонов в неупругих взаимодействиях протонов с ядром углерода использовалось соотношение

$$\sigma_{C_3H_8} = 3\sigma_C + 8\sigma_p \quad (1)$$

Здесь $\sigma_{C_3H_8}$ - сечение взаимодействия на молекуле пропана, которое определялось экспериментально ^{4/}; σ_C - сечение взаимодействия на ядре углерода; σ_p - на протоне. Сечения pp-взаимодействий брались из литературы ^{5/}.

Из распределения по множественности π^- -мезонов во взаимодействиях протонов с молекулой пропана, согласно известным величинам сечений, вычиталось соответствующее распределение в pp-взаимодействиях. Затем вычитался вклад случаев упругого pC-рассеяния и добавлялись события от взаимодействия протонов с квазисвободным нуклоном ядра углерода ^{4/}.

Таким образом, распределения по числу рожденных π^- -мезонов, представленные ниже, соответствуют неупругим взаимодействиям протонов с ядрами углерода и тантала. По нашим оценкам,

Таблица 1

Величины средних множественностей $\langle n_- \rangle$ при pp, pn, pN и pN_{Ta}-взаимодействиях в различных нормировках (σ_{tot} , σ_{in} , σ_-)

P _p	NN	P _p				
		pp	pn	pN	pN _{Ta}	
2,3	tot	0,04±0,01	0,220±0,006	0,130±0,006	0,148±0,005	
	in	0,07±0,02	0,44±0,01	0,25±0,01	0,29±0,01	
	-	1,00±0,11	1,00±0,03	1,00±0,06	1,00±0,05	
4,2	tot	0,18±0,01	0,41±0,01	0,30±0,01	0,32±0,01	
	in	0,26±0,02	0,64±0,02	0,45±0,01	0,49±0,01	
	-	1,01±0,03	1,05±0,01	1,03±0,01	1,04±0,01	
5,4	tot	0,240±0,005	0,52±0,02	0,38±0,01	0,41±0,01	
	in	0,34±0,01	0,75±0,02	0,55±0,01	0,59±0,01	
	-	1,04±0,02	1,09±0,03	1,07±0,02	1,07±0,02	
9,9	tot	0,44±0,02	0,75±0,05	0,60±0,03	0,63±0,03	
	in	0,59±0,03	1,00±0,07	0,79±0,04	0,85±0,04	
	-	1,19±0,06	1,39±0,07	1,29±0,06	1,31±0,07	

процедура вычитания и неопределенность в величинах поправок могут внести в данные по средней множественности $\langle n_- \rangle$ и дисперсии D_- - ошибку $\leq 5\%$.

3. Средняя множественность π^- -мезонов в pN-взаимодействиях

Для последующего анализа экспериментальных результатов нам понадобятся величины средней множественности π^- -мезонов, рожденных в протон-нуклонных взаимодействиях. Эти величины получены путем пересчета известных ^{5/} данных в pp- и pn-взаимодействиях при учете числа нейтронов и протонов ядра тантала (pN_{Ta}) и углерода ($pN_C = pN$).

В табл. 1 представлены величины средней множественности π^- -мезонов в pp-, pn-, pN- и pN_{Ta}-взаимодействиях при различных нормировках: во всех событиях (tot), в неупругих взаимодействиях (in) и в событиях, где рождается хотя бы один π^- -мезон (-).

4. Распределения по множественности π^- -мезонов в pTa- и pC-взаимодействиях

В табл. 2 приведены вероятности наблюдения событий с данным числом n_- рожденных π^- -мезонов для неупругих взаимодействий протонов с ядрами углерода и тантала при различных значениях импульса протона. Здесь A_1 обозначает тип ядра - мишени, n_- - число рожденных π^- -мезонов, N_{tot} - полное число событий неупругого взаимодействия.

На рис. 1 и в табл. 3 представлены средние множественности π^- -мезонов в неупругих взаимодействиях протона с ядрами углерода и тантала в зависимости от импульса налетающего протона. Средняя множественность сильно растет во всем диапазоне энергий. Для сравнения на график нанесена зависимость средней множественности π^- -мезонов в pN-столкновениях в нормировке на полное /сплошная линия/ и на неупругое сечение /штриховая/. Видно, что увеличение множественности π^- -мезонов на ядре по сравнению с pN-взаимодействиями становится заметным при импульсах протонов $P_p \geq 4$ ГэВ/с.

Для изучения влияния ядра на процессы множественного рождения используют так называемый коэффициент размножения R_A , который равен отношению средних множественностей π^- -мезонов в адрон-ядерных и адрон-адронных столкновениях при одинаковой энергии. Вопрос о выборе нормировки для такого представления

Таблица 2

Вероятность наблюдения событий с данным числом π^- -рожденных π^- -мезонов при неупругом взаимодействии протонов с ядрами углерода и тантала в интервале импульсов налетающего протона $/2+10/$ ГэВ/с

P_p	$\frac{n-}{A_t}$	0	1	2	3	4	5	6	N_{tot}
2,3	C	$0,86 \pm 0,08$	$0,13 \pm 0,01$	$0,006 \pm 0,002$					1212
	Ta	$0,86 \pm 0,08$	$0,13 \pm 0,01$	$0,008 \pm 0,002$					842
4,2	C	$0,70 \pm 0,02$	$0,26 \pm 0,01$	$0,030 \pm 0,004$	$0,001 \pm 0,001$				1620
	Ta	$0,62 \pm 0,02$	$0,32 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,01$	$0,004 \pm 0,002$				1046
5,4	C	$0,53 \pm 0,02$	$0,39 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,007$	$0,008 \pm 0,003$				1221
	Ta	$0,51 \pm 0,04$	$0,35 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,02$	$0,015 \pm 0,006$		$0,002 \pm 0,002$		390
9,9	C	$0,30 \pm 0,02$	$0,46 \pm 0,03$	$0,17 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,01$	$0,007 \pm 0,002$	$0,005 \pm 0,002$		597
	Ta	$0,30 \pm 0,02$	$0,38 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$	$0,022 \pm 0,004$	$0,005 \pm 0,002$	$0,001 \pm 0,001$	988

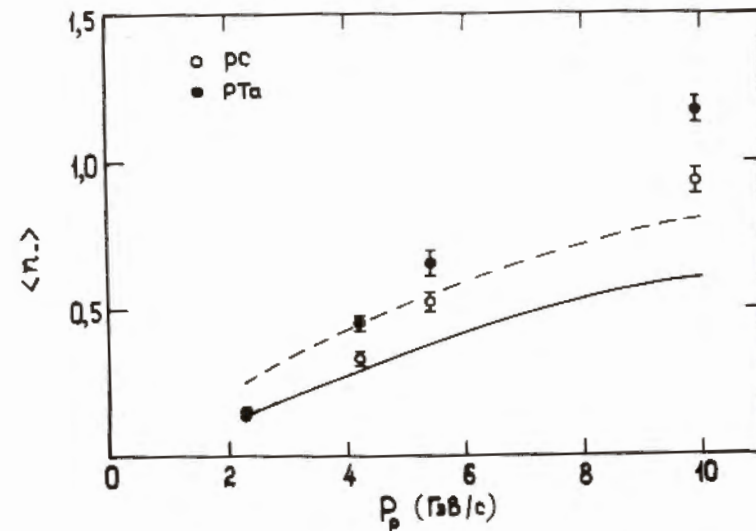


Рис. 1. Средние множественности π^- -мезонов в неупругих взаимодействиях протона с ядрами углерода и тантала в зависимости от импульса протона.

Таблица 3

Величины средних множественностей π^- -мезонов в неупругих взаимодействиях протонов с ядрами углерода и тантала в зависимости от импульса налетающего протона

$A_t \backslash P_p$	2,3	4,2	5,4	9,9
C	$0,15 \pm 0,01$	$0,33 \pm 0,02$	$0,52 \pm 0,03$	$0,93 \pm 0,04$
Ta	$0,14 \pm 0,01$	$0,45 \pm 0,02$	$0,65 \pm 0,04$	$1,17 \pm 0,04$

важен, так как фактически речь идет об аналоге неупругих адрон-адронных взаимодействий в адрон-ядерных и ядро-ядерных столкновениях.

При наших энергиях неупругие NN-взаимодействия состоят, в основном, из процессов с рождением π^{\pm} -мезонов. По-видимому, аналогом неупругих pN-взаимодействий для pA-столкновений следует считать процесс рождения хотя бы одного π^{\pm} -ме-

зона, σ_{prod} . Выделение такого класса событий на эксперименте связано с большими методическими трудностями. В нашем случае, для получения распределения по числу рожденных π^- -мезонов в нормировке на сечение σ_{prod} , это связано с неопределенностью относительной доли событий без π^- -мезонов. С этой целью использовалось расчетное отношение $\sigma_{\text{prod}}/\sigma_{\text{in}}$ по модели "мягких сфер", которая удовлетворительно описывает экспериментальные сечения неупругих взаимодействий ядер. В табл. 4 приведены величины R_A при использовании различных вариантов нормировки. Видно, что от ее выбора существенно зависят как сами величины R_A , так и поведение коэффициента размножения с ростом импульса протона.

На рис. 2 представлены значения R_A для pC - и pTa - взаимодействий в зависимости от импульса налетающего протона для событий, где зарегистрирован хотя бы один π^- -мезон. В такой нормировке наблюдается размножение π^- -мезонов на ядре, однако в зависимости R_A от энергии проявляется тенденция к выходу на плато.

Таблица 4

Значения коэффициента размножения R_A при взаимодействиях протона с ядрами углерода и тантала для различных значений импульса протона и в различных нормировках

P_p	R_A A_0	$\langle n_- \rangle^{PA} / \sigma_{in}$	$\langle n_- \rangle^{PA} / \sigma_{in}$	$\langle n_- \rangle^{PA} / \sigma_{in}$	$\langle n_- \rangle^{PA} / \sigma_{prod}$
		$\langle n_- \rangle^{PN} / \sigma_{tot}$	$\langle n_- \rangle^{PN} / \sigma_{in}$	$\langle n_- \rangle^{PN} / \sigma_{in}$	$\langle n_- \rangle^{PN} / \sigma_{in}$
2.3	C	$1,13 \pm 0,06$	$0,58 \pm 0,05$	$1,02 \pm 0,06$	$0,80 \pm 0,06$
	Ta	$0,95 \pm 0,05$	$0,48 \pm 0,04$	$1,02 \pm 0,05$	$0,54 \pm 0,05$
4.2	C	$1,12 \pm 0,05$	$0,73 \pm 0,04$	$1,08 \pm 0,05$	$0,87 \pm 0,04$
	Ta	$1,41 \pm 0,06$	$0,92 \pm 0,05$	$1,13 \pm 0,06$	$0,91 \pm 0,05$
5.4	C	$1,38 \pm 0,09$	$0,96 \pm 0,06$	$1,11 \pm 0,06$	$1,23 \pm 0,06$
	Ta	$1,60 \pm 0,11$	$1,11 \pm 0,07$	$1,25 \pm 0,06$	$1,18 \pm 0,08$
9.9	C	$1,57 \pm 0,09$	$1,18 \pm 0,07$	$1,14 \pm 0,05$	$1,42 \pm 0,08$
	Ta	$1,87 \pm 0,11$	$1,40 \pm 0,08$	$1,27 \pm 0,06$	$1,51 \pm 0,09$

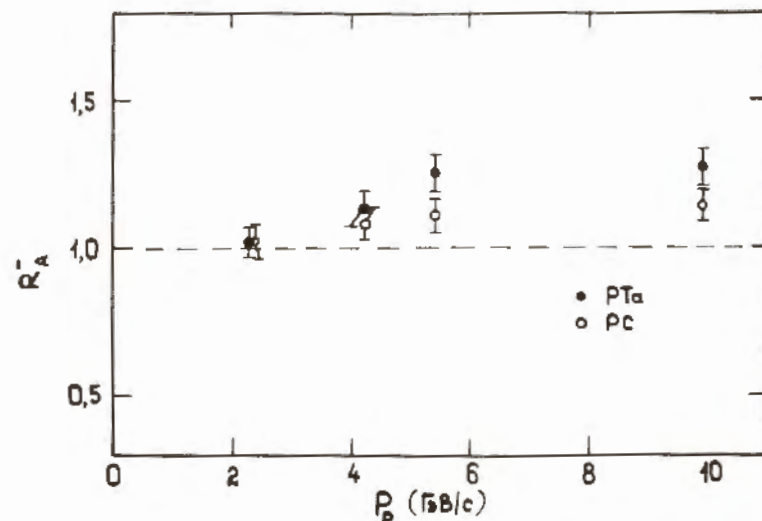


Рис. 2. Коэффициент размножения π^- -мезонов в ядрах углерода и тантала R_A в зависимости от импульса протона.

На рис. 3 приведена зависимость экспериментальных значений дисперсии $D_- = \sqrt{\langle n_-^2 \rangle - \langle n_- \rangle^2}$ от средней множественности $\langle n_- \rangle$. Прямая линия представляет эмпирическую зависимость Малхотра - Врублевского для неупругих pp-соударений в интервале импульсов /4+50/ ГэВ/с. Пунктиром проведена линия через данные для pN-взаимодействий (●). Результаты нашего эксперимента, в нормировке на сечение рождения σ_{prod} , представлены в виде квадратиков /□ - pC, ■ - pTa/. На наш взгляд, их следует сравнивать с данными по pN-столкновениям. Из рис. 3 видно подобие распределений для pC - и pN-взаимодействий. В соударениях протона с ядром тантала при одинаковых значениях средней множественности дисперсии больше, чем в pN-столкновениях. Такое уширение распределений, по-видимому, связано с флуктуацией числа взаимодействующих нуклонов ядра тантала. Аналогичное увеличение дисперсий особенно ярко проявляется ^{18/} в случае столкновения релятивистских ядер с ядрами.

На рис. 4 приведена зависимость средней множественности π^- -мезонов от числа g-частиц в pTa-взаимодействиях при различных значениях импульса налетающего протона. Определение g-частиц практически совпадало с эмульсионным. Идентификация проводилась при просмотре по плотности ионизации. Импульсы протонов, отнесенных к g-частицам, находились в интервале

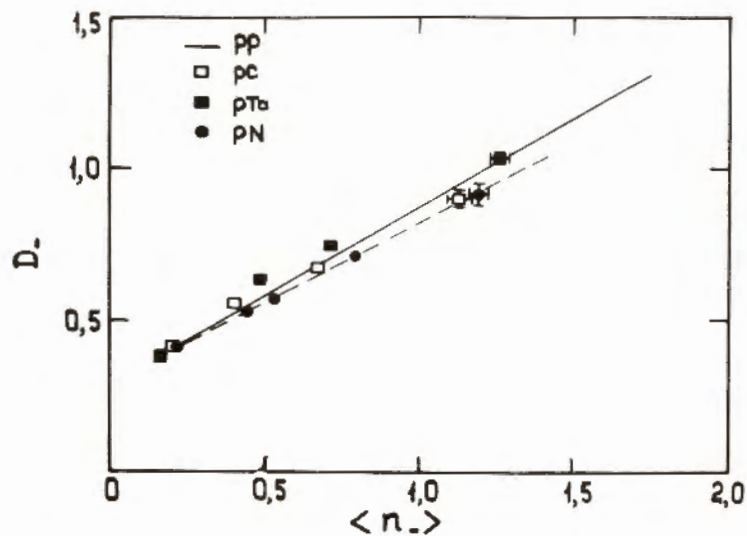


Рис. 3. Зависимость экспериментальных значений дисперсии $D_ = \sqrt{\langle n_g^2 \rangle - \langle n_g \rangle^2}$ от средних множественностей π^- -мезонов в pC- и pTa-взаимодействиях.

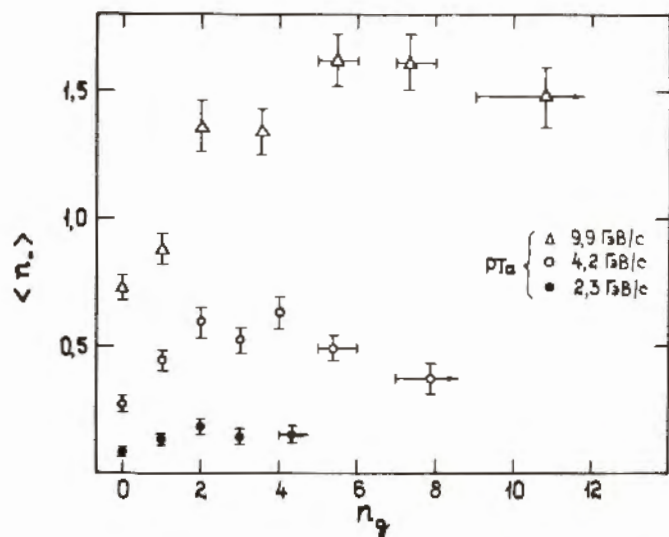


Рис. 4. Зависимость средней множественности π^- -мезонов от числа g-частиц n_g в pTa-взаимодействиях.

240 $\langle P_p \rangle < 700$ МэВ/с. Из рис. 4 видно, что увеличение множественности π^- -мезонов с ростом числа n_g наиболее заметно при импульсе $P_p = 9,9$ ГэВ/с. Эти данные можно качественно понять при предположении, что число g-следов пропорционально числу внутриядерных столкновений. Вначале, при переходе от периферических соударений, с ростом числа протонов отдачи возрастает вклад кратных неупругих взаимодействий, что ведет к росту средней множественности. Последующее увеличение числа столкновений не дает вклада в среднюю множественность, так как протон уже потерял большую часть своей энергии. При этом растет относительная доля событий упругого внутриядерного рассеяния.

В табл. 5 приведены отношения квадратов дисперсий D_-^2 к средним множественностям π^- -мезонов $\langle n_- \rangle$ для pTa-взаимодействий при трех значениях импульса протона. В первой строке табл. 5 даны отношения $D_-^2 / \langle n_- \rangle$ для всех неупругих взаимодействий ($n_g \geq 0$). Во второй - для событий с числом $n_g \geq 3$. Видно, что распределения по множественности π^- -мезонов мало отличаются от пуассоновского закона. Форма распределений слабо зависит от числа g-частиц.

Таблица 5

Отношения $D_-^2 / \langle n_- \rangle$ в зависимости от числа n_g для pTa-взаимодействий

P_p / n_g	2,3	4,2	9,9
$n_g \geq 0$	0,91 \pm 0,08	0,85 \pm 0,05	0,91 \pm 0,05
$n_g \geq 3$	0,91 \pm 0,13	0,80 \pm 0,07	0,84 \pm 0,06

Заключение

Получены новые данные по неупругому взаимодействию протонов с ядрами углерода и тантала при различных значениях импульса налетающего протона. Проведен анализ экспериментальных характеристик распределений по множественности π^- -мезонов в этих событиях.

Наблюден существенный рост средней множественности π^- -мезонов с увеличением первичной энергии. Начиная с импульса на-

летающего протона $P_p = 4$ ГэВ/с, в неупругих взаимодействиях протонов на ядрах заметно размножение π^- -мезонов.

При одинаковой средней множественности распределения по числу рожденных π^- -мезонов в рТв-взаимодействиях шире, чем в рN-соударениях, тогда как соответствующие распределения в рС-соударениях подобны наблюдаемым в рN-взаимодействиях.

На ядре тантала наблюдается корреляционная зависимость средней множественности π^- -мезонов от числа g-частиц.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность А.И.Голохвастову и С.А.Хорозову за полезные обсуждения, В.Г.Гришину и М.И.Соловьеву - за поддержку в работе, а также участникам сотрудничества на двухметровой пропановой камере, обслуживающему персоналу и лаборантам, принимавшим участие в обработке снимков.

Литература

1. Miller D.J., Nowak R. Lett.Nuovo Cim., 1975, 13, p. 39.
2. Абдрахманов Е.О. и др. ОИЯИ, P1-10779, Дубна, 1977; ЯФ, 1978, 28, с. 1020.
3. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, 1-12424, Дубна, 1979.
4. Ахабабян Н. и др. ОИЯИ, 1-12114, Дубна, 1979.
5. Абдивалиев А. и др. ОИЯИ, 1-8565, Дубна, 1975; Nucl.Phys., B99, 445, 1975.
Такибаев Ж.С., Боос Э.Г. Неупругие взаимодействия нуклонов при высоких энергиях. Алма-Ата, "Наука", 1974.
6. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, P1-12281, Дубна, 1979; JINR, E1-12548, Dubna, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 февраля 1980 года.