

80-168



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3448/2-80

28/7-80

P1-80-168

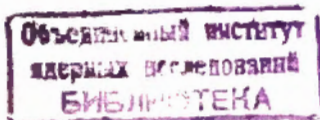
НАБЛЮДЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИЙ
МЕЖДУ МНОЖЕСТВЕННОСТЯМИ
 π^- -МЕЗОНОВ И ПРОТОНОВ
В НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ p, d, He И C
С ЯДРАМИ ТАНТАЛА В ИНТЕРВАЛЕ ИМПУЛЬСОВ
/2-10/ ГЭВ/С НА НУКЛОН

1980

P1-80-168

НАБЛЮДЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИЙ
МЕЖДУ МНОЖЕСТВЕННОСТЯМИ
 π^- -МЕЗОНОВ И ПРОТОНОВ
В НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ p, d, He И C
С ЯДРАМИ ТАНТАЛА В ИНТЕРВАЛЕ ИМПУЛЬСОВ
/2-10/ ГЭВ/С НА НУКЛОН

Направлено в ЯФ



Наблюдение корреляций между множественностями π^- -мезонов и протонов в неупругих взаимодействиях p , d , He и C с ядрами тантала в интервале импульсов /2-10/ ГэВ/с на нуклон

Изучалась корреляция между рождением π^- -мезонов и испусканием протонов в заднюю полусферу в л.с. во взаимодействиях протонов с первичным импульсом $P_0 \geq 5$ ГэВ/с и ядер 4He и ${}^{12}C$ с импульсом на нуклон 4,2 ГэВ/с с ядрами Ta . Наблюдалась существенная зависимость средних множественностей π^- -мезонов и протонов, испущенных в заднюю полусферу в л.с., от атомного веса ядра-снаряда. Исследование проводилось на основе просмотра снимков с 2-метровой пропановой камеры, облученной релятивистскими ядрами p , d , He и C .

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Correlations between π^- -Meson Multiplicities and Protons Observed in Inelastic Interactions of p , d , He and C with Ta Nuclei.

The correlation is observed between π^- -meson production and proton emission in the backward hemisphere in the laboratory system in interactions of protons with an incident momentum of $P_0 \geq 5$ GeV/c and 4He and ${}^{12}C$ nuclei with a momentum of 4.2 GeV/c per nucleon with Ta nuclei. A significant dependence is observed of average multiplicities of π^- -mesons and protons, emitted in the backward hemisphere in the laboratory system, on the atomic weight of the target nucleus. The investigation has been performed by means of scanned photographs, taken in the 2 m propane bubble chamber, exposed to p , d , He and C relativistic nuclei.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1980

§ 1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение корреляционных явлений в процессах множественного рождения частиц на ядрах с испусканием кумулятивных протонов в заднюю полусферу в лабораторной системе вызывает в настоящее время большой интерес. Первые экспериментальные данные по кумулятивному рождению^{/1/} стимулировали экспериментальные и теоретические исследования этого явления^{/2/}.

В настоящее время накоплено много интересных экспериментальных фактов: выход на асимптотический режим при первичных энергиях адронов $E \approx 3,5$ ГэВ, A -зависимости, равенство инклюзивных сечений выхода π^- -мезонов и K^- -мезонов при равных порядках кумулятивности, зависимость сечений выхода частиц от кумулятивного числа. Широко обсуждается ряд теоретических моделей^{/3/}. Привлечение к анализу корреляционных характеристик множественного образования адронов позволило бы аргументировать выбор модели взаимодействия адронов и ядер с ядрами^{/4,5/}.

В данной работе исследовались корреляции между образованием отрицательных π^- -мезонов и испусканием протонов в заднюю полусферу в лабораторной системе при столкновениях ядер p , d , 4He , ${}^{12}C$ с тяжелым $A = 181$ ядром тантала. Корреляции подобного типа для случая столкновения релятивистских ядер еще не исследовались, а существующие данные^{/6/} относятся в основном к π^-C -взаимодействиям. В этих работах корреляций между рождением π^\pm -мезонов и множественностью протонов, испущенных в заднюю полусферу, не наблюдалось.

§ 2. МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Три танталовые пластинки толщиной по 1 мм были установлены в двухметровой пропановой камере ЛВЭ ОИЯИ. Камера облучалась пучками релятивистских ядер p , d , 4He и ${}^{12}C$. Наши экспериментальные данные были получены при первичных импульсах /2,2; 4,2; 5,4; 9,9/ ГэВ/с для pTa -взаимодействий и при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон для случая облучения ядрами d , 4He и ${}^{12}C$.

Отбор событий неупругого взаимодействия ядер в тантале проводился по визуальным критериям. Методические вопросы рассмотрены в работе^{/7/}. Все треки в звезде, образованные отрицательными частицами, кроме идентифицированных электронов, считались принадлежащими π^- -мезонам. Согласно экспериментальным

Таблица 1

Вероятности наблюдения событий, имеющих протон-назад в рТа-взаимодействиях в интервале импульсов /2-10/ ГэВ/с.

$\frac{P}{A_c}$ (ГэВ/с)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	N сов.
2,2	73,0 \pm 3,7	20,3 \pm 1,6	5,8 \pm 0,7	0,5 \pm 0,2	0,3 \pm 0,2					980
4,2	59,7 \pm 3,0	23,8 \pm 1,6	10,9 \pm 0,9	4,4 \pm 0,6	1,2 \pm 0,3					1132
5,4	55,2 \pm 5,0	24,7 \pm 2,7	11,9 \pm 1,9	4,4 \pm 1,1	3,4 \pm 1,0					415
9,9	52,9 \pm 2,6	20,2 \pm 1,6	14,4 \pm 1,2	7,2 \pm 0,8	3,7 \pm 0,6	0,9 \pm 0,3	0,3 \pm 0,2	0,2 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	1036

Таблица 2

Вероятности наблюдения событий, имеющих протон-назад в d-, He- и CТа-взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон

$\frac{P}{A_c}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II	N _{сов}
d	45,2 \pm 2,3	26,2 \pm 1,6	14,0 \pm 1,1	7,7 \pm 0,7	4,5 \pm 0,6	1,5 \pm 0,4	0,6 \pm 0,2	0,2 \pm 0,1	0,1 \pm 0,1				1441
He	42,8 \pm 2,6	20,1 \pm 1,6	14,2 \pm 1,3	10,0 \pm 0,9	5,6 \pm 0,7	3,1 \pm 0,5	1,7 \pm 0,3	1,2 \pm 0,3	0,9 \pm 0,3	0,2 \pm 0,1	0,1 \pm 0,1	0,2 \pm 0,1	1244
C	34,8 \pm 2,1	17,9 \pm 1,3	13,7 \pm 1,2	9,7 \pm 1,0	9,0 \pm 0,9	5,5 \pm 0,7	3,4 \pm 0,6	2,4 \pm 0,5	1,4 \pm 0,4	0,8 \pm 0,6	0,7 \pm 0,6	0,7 \pm 0,6	1273

данным по pp-взаимодействиям примесь отрицательных странных частиц не должна превышать 1%. Примесь неидентифицированных электронов к π^- -мезонам не превышала 3%. Средний граничный импульс детектирования, начиная с которого π^- -мезоны уверенно идентифицировались, равен $p_{гр} = 80$ МэВ/с. Толщина пластинки и слой пропана ≈ 3 мм приводили практически к полному поглощению испарительной части спектра продуктов ядра-мишени. Граничные средние импульсы регистрации для p, d, t, ^3He и ^4He были равны /240, 400, 520, 780, 960/ МэВ/с соответственно.

Идентификация протонов, испущенных назад, проводилась визуально с помощью соотношения ионизационные потери - импульс, соотношения импульс - пробег, по максимальной энергии δ -электрона, отсутствию распада $\pi \rightarrow \mu + e$ для остановившихся в рабочем объеме камеры частиц. Имеющиеся данные для взаимодействия протонов с тяжелым ядром 18 показывают, что выход дейтронов в заднюю полусферу по отношению к выходу протонов составляет $\sim 10\%$.

Данных по выходу d, t, ^3He , ^4He в заднюю полусферу для взаимодействия ядер в настоящее время нет, но по оценкам 19 вклад этих частиц в рассматриваемую область углов испускания /по отношению к протонам/ невелик. Примесь π^+ -мезонов в наблюдаемое нами число протонов не превышала нескольких процентов. В дальнейшем все барионы, летящие в п.с. в заднюю полусферу, будем называть "протонами-назад".

§ 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл.1 приведены вероятности наблюдения событий с данным числом протонов-назад при взаимодействии протона с ядром тантала при разных первичных импульсах. В последней колонке указано полное число наблюдаемых событий неупругого взаимодействия.

В табл.2 приведены аналогичные вероятности наблюдения событий с разным числом идентифицированных протонов-назад при взаимодействии налетающих ядер d, ^4He , ^{12}C с ядром тантала при импульсе на нуклон снаряда 4,2 ГэВ/с. В последней колонке указано полное число наблюдаемых событий неупругого взаимодействия.

На рис.1 и в табл.3 представлена зависимость от первичного импульса среднего числа $\langle n_- \rangle$ отрицательных частиц в событии и среднего числа $\langle n_p^b \rangle$ протонов-назад во взаимодействиях протонов с ядром тантала в интервале импульсов /2-10/ ГэВ/с. В табл.3 также представлены дисперсии распределений отрицательных частиц D_-^2 и протонов-назад D_p^2 .

Из рис.1 видно, что с увеличением импульса налетающего протона наблюдается рост средней множественности протонов-назад с указанием выхода на плато. Средняя множественность отрицательных частиц растет почти линейным образом. Линии проведены через экспериментальные точки.

Таблица 3

Средние множественности и дисперсии распределений π^- -мезонов и протонов-назад при взаимодействии протонов с танталом в интервале импульсов /2-10/ ГэВ/с

P_0 (ГэВ/с)	2,2	4,2	5,4	9,9
$\langle n_- \rangle$	$0,14 \pm 0,02$	$0,45 \pm 0,02$	$0,65 \pm 0,04$	$1,17 \pm 0,04$
D_-^a	$0,12 \pm 0,01$	$0,39 \pm 0,02$	$0,64 \pm 0,05$	$1,10 \pm 0,05$
$\langle n_p^b \rangle$	$0,35 \pm 0,03$	$0,64 \pm 0,03$	$0,78 \pm 0,06$	$0,95 \pm 0,04$
D_p^a	$0,42 \pm 0,02$	$0,86 \pm 0,04$	$1,20 \pm 0,09$	$1,70 \pm 0,08$

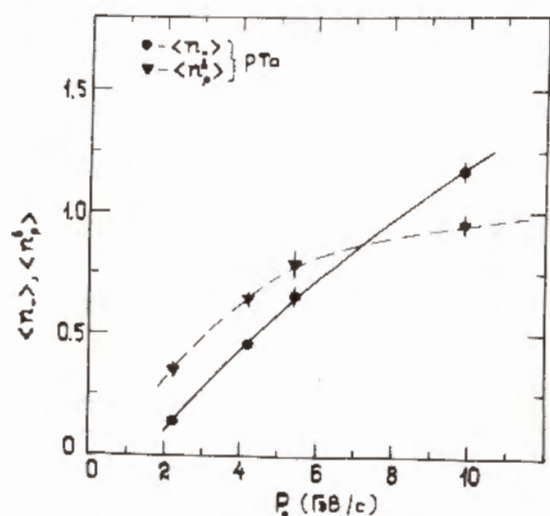


Рис.1. Зависимости средних множественностей π^- -мезонов и протонов-назад от импульса первичного протона в рТа-взаимодействиях.

На рис.2 приведена зависимость среднего числа отрицательных частиц в событии от числа наблюдаемых протонов-назад во взаимодействиях протонов с ядром тантала при различных импульсах первичных протонов. Как видно из рис.2, при импульсе налетающих протонов 2,2 и 4,2 ГэВ/с не наблюдается, в пределах ошибок, корреляций между числом отрицательных частиц и протонов-назад. При более высоких импульсах протона /5,4 ГэВ/с; 9,9 ГэВ/с/ в некоторой области значений n_p^b наблюдается положительная корреляция между $\langle n_- \rangle$ и n_p^b .

Такое отличие в поведении корреляции при разных первичных импульсах качественно, по-видимому, объясняется следующим образом. При сравнительно небольших первичных импульсах / $P_0 \leq 4$ ГэВ/с/ может произойти практически не более одного неупругого столкновения первичного протона с нуклонами ядра, приводящего к рождению пионов. Поэтому увеличение кратности соударения в столкновениях более близких к центральным хотя и может обусловить рост выхода протонов-назад, однако не оказывает заметного влияния на среднюю множественность рожденных пионов. При больших первичных импульсах пионы могут рождаться в большом, хотя и ограниченном числе столкновений налетающей частицы с нуклонами ядра. Это приводит к положительной корреляции между n_p^b и $\langle n_- \rangle$ в некоторой области изменения n_p^b , причем было бы

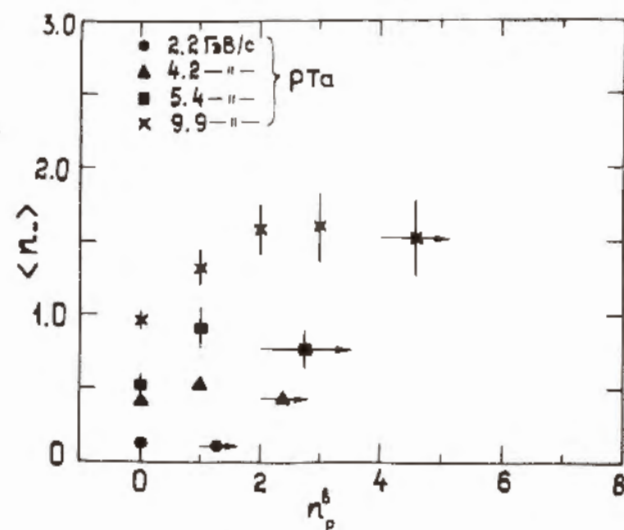


Рис.2. Зависимость средней множественности π^- -мезонов от числа протонов-назад во взаимодействиях рТа в интервале импульсов первичного протона /2-10/ ГэВ/с.

Таблица 4

Средние числа провзаимодействовавших нуклонов ядер снарядов p, d, He и C с ядром тантала при первичном импульсе на нуклон 4,2 ГэВ/с.

A_i	p	d	He	C
$\langle \nu_i \rangle$	1,0	$1,57 \pm 0,03$	$2,85 \pm 0,10$	$6,40 \pm 0,30$

естественно ожидать, что при "умеренных" энергиях эта область будет тем шире, чем больше первичная энергия /см. рис.2/.

В приведенных выше зависимостях мы фиксировали атомные номера снаряда и мишени, варьируя импульс "снаряда". Теперь, для выяснения зависимости корреляционных характеристик от атомного веса ядра-снаряда, будем фиксировать величину первичного импульса на нуклон.

В табл.4 представлены экспериментальные значения среднего числа провзаимодействовавших нуклонов $\langle \nu_i \rangle$ ядер-снарядов p, d, ^4He и ^{12}C с ядром тантала при импульсе налетающего ядра 4,2 ГэВ/с на нуклон $^{10}/$. Отметим, что экспериментальные величины удовлетворительно согласуются со значениями, рассчитанными в модели независимо взаимодействующих нуклонов $^{11}/$.

$$\langle \nu_i^{\text{рассч.}} \rangle = A_i \sigma_{pA_t} / \sigma_{A_i A_t} \quad /1/$$

где σ_{pA_t} и $\sigma_{A_i A_t}$ есть неупругие адрон-ядерные и ядро-ядерные сечения.

На рис.3 представлены зависимости средних множественностей отрицательных частиц и протонов, испущенных в заднюю полусферу во взаимодействии p, d, ^4He и ^{12}C с ядром тантала, от экспериментального числа провзаимодействовавших нуклонов ядра-снаряда, $\langle \nu_i \rangle$. Импульс первичного ядра - 4,2 ГэВ/с на нуклон. Первая точка /закрытый кружок/ соответствует экспериментально измеренному значению средней множественности π^- -мезонов в pTa-взаимодействии. Открытый кружок соответствует средней множественности π^- -мезонов, рассчитанной для взаимодействия "среднего нуклона" N с танталовой мишенью на основе существующих данных по NN- и pA-взаимодействиям $^{11}/$.

$$\langle n_- \rangle_{\text{NTa}} = \frac{1}{2} (\langle n_- \rangle_{\text{pTa}} + \langle n_- \rangle_{\text{nTa}}) = 0,55 \pm 0,03.$$

Экспериментальные значения средних множественностей и дисперсий распределений отрицательных частиц и протонов-назад представлены в табл.5. Как видно из рис.3, средняя множественность π^- -мезонов растет линейным образом при увеличении среднего числа $\langle \nu_i \rangle$, в то время как средняя множественность протонов-назад растет заметно медленнее. Такое поведение средней множественности протонов-назад можно качественно описать в предположении независимого взаимодействия нуклонов падающего ядра с мишенью. В рамках этой модели среднее число нуклонов ядра-мишени $\langle \nu_t \rangle$, претерпевших хотя бы одно столкновение с налетающими нуклонами, по аналогии с формулой /1/ равно:

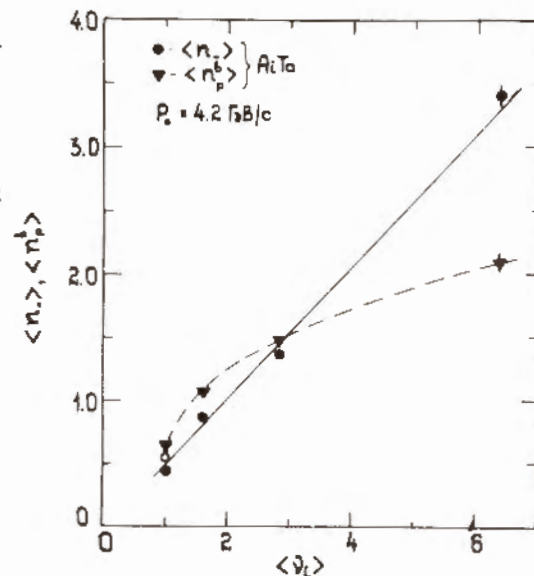
$$\langle \nu_t \rangle = A_t \cdot \sigma_{NA_i} / \sigma_{A_i A_t} \quad /2/$$

Таблица 5

Средние множественности и дисперсии распределений π^- -мезонов и протонов-назад при взаимодействии p, d, He и C с танталом при первичном импульсе на нуклон 4,2 ГэВ/с.

A_i	p	d	He	C
$\langle n_- \rangle$	0,45 \pm 0,02	0,86 \pm 0,03	1,36 \pm 0,03	3,39 \pm 0,09
D_-^2	0,39 \pm 0,02	0,77 \pm 0,03	1,44 \pm 0,06	8,29 \pm 0,35
$\langle n_p^t \rangle$	0,64 \pm 0,03	1,08 \pm 0,04	1,47 \pm 0,04	2,08 \pm 0,07
D_p^2	0,86 \pm 0,04	1,78 \pm 0,07	3,54 \pm 0,15	5,76 \pm 0,24

Рис.3. Зависимость средних множественностей π^- -мезонов и протонов-назад от среднего числа провзаимодействовавших нуклонов в столкновениях ядер-снарядов p, d, He, C с ядром тантала при первичном импульсе на нуклон 4,2 ГэВ/с. Открытый кружок соответствует расчетному значению множественности π^- -мезонов для взаимодействия "среднего нуклона" с танталовой мишенью.



Из выражений /1/ и /2/ ясно видно, что $\langle \nu_t \rangle$ является медленно растущей функцией $\langle \nu_i \rangle$. Отношение $\langle \nu_t \rangle / \langle \nu_i \rangle$, т.е. среднее число провзаимодействовавших со снарядом нуклонов мишени, приходящееся на один провзаимодействовавший с мишенью нуклон налетающего ядра, равно

$$\langle \nu_t \rangle / \langle \nu_1 \rangle = \frac{A_t}{A_1} \cdot \frac{\sigma_{NA_i}}{\sigma_{NA_t}} = \frac{A_t^{1/3}}{A_1^{1/3}} \quad /3/$$

т.е. уменьшается с ростом A_i /при фиксированном A_t /. Формула /3/ имеет тот простой смысл, что с увеличением $\langle \nu_1 \rangle$ взаимодействующие нуклоны налетающего ядра все в большей степени сталкиваются с одними и теми же нуклонами мишени.

На рис. 4 показано поведение средней множественности π^- -мезонов в событиях с разным числом протонов-назад при взаимодействии ядер p, d, ^4He и ^{12}C с ядром тантала при импульсе на нуклон ядра-снаряда 4,2 ГэВ/с.

Из рис. 4 видно, что с увеличением размера ядра-снаряда появляется сначала слабая, в dTa-взаимодействиях, затем все усиливающаяся, в HeTa- и CTa-взаимодействиях, положительная корреляция между n_p^b и $\langle n_- \rangle$. Этот экспериментальный факт качественно можно объяснить следующим образом. Для данного налетающего ядра количество провзаимодействовавших нуклонов ν_i является случайной величиной, меняющейся от $\nu_i = 1$ до $\nu_i \approx A_i$. С увеличением ν_i одновременно возрастает и число рожденных π^- -мезонов, и число выбитых назад нуклонов, т.е. имеет место положительная корреляция между n_p^b и n_- .

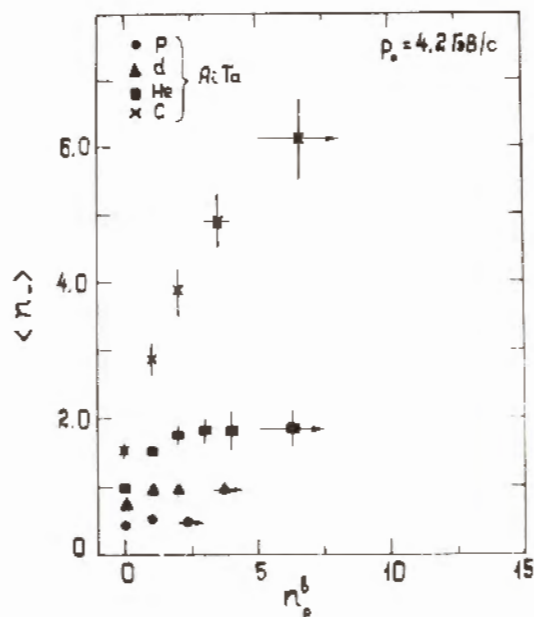


Рис. 4. Зависимость средней множественности π^- -мезонов от числа протонов-назад при взаимодействии ядер p, d, He и C с импульсом на нуклон 4,2 ГэВ/с с ядром тантала.

При значениях ν_i , близких к A_i , дальнейший рост n_p^b обеспечивается только увеличением кратности столкновений отдельных налетающих нуклонов снаряда, что не приводит, как мы видели из данных по pTa-взаимодействиям, к заметному росту $\langle n_- \rangle$. Поэтому при больших значениях n_p^b корреляция между n_p^b и $\langle n_- \rangle$ имеет тенденцию к ослаблению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые наблюдается корреляция в процессах множественного образования частиц между π^- -мезонами и протонами-назад в pTa-взаимодействиях при импульсах $p_p \geq 5$ ГэВ/с и в столкновениях ядер гелия и углерода с танталом при импульсе на нуклон $p_0 = 4,2$ ГэВ/с. Наблюдена существенная зависимость средних множественностей π^- -мезонов и протонов-назад от атомного веса ядра-снаряда. Линейный рост средней множественности π^- -мезонов в зависимости от числа $\langle \nu_i \rangle$ согласуется с моделью независимого взаимодействия нуклонов ядра-снаряда. Увеличение среднего числа протонов-назад, по всей вероятности, связано с возрастанием числа провзаимодействовавших нуклонов ядра-мишени.

По-видимому, различное поведение множественностей рожденных π^- -мезонов и образованных протонов-назад поможет ответить на интересный вопрос: образуются ли быстрые протоны-назад в процессе взаимодействия или столкновение только освобождает нуклоны ядра, имеющие большие ферми-импульсы до соударения?

Следует отметить, что анализ экспериментальных данных проводился для протонов с импульсом $p_p \geq 240$ МэВ/с и для π^- -мезонов всех импульсов и углов испускания. Более интересных явлений можно ожидать, когда импульсы протонов-назад будут существенно превышать граничный ферми-импульс. Представляет большой интерес изучение корреляционных характеристик во взаимодействиях с испусканием кумулятивных π^- -мезонов и протонов.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность обслуживающему персоналу 2-метровой пропановой камеры и лаборантам, принимавшим участие в обработке снимков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, P1-5819, Дубна, 1971; ЭЧАЯ, 1977, т.8, в.3, с.429.
2. Baldin A.M. In: Proc. XIX Int. Conf. on High Energy Physics, Tokyo, 1978; Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, т.10, в.5, с.949; Лексин Г.А. В кн.: Труды XVIIII Международной конференции по физике высоких энергий. Тбилиси, 1976, ОИЯИ, Д1-2-10900, Дубна, 1977.

3. Amado R.D., Woloshyn R.M. Phys.Rev.Lett., 1976, 36, p.1435; Frankel S. Phys.Rev., 1978, 17C, p.694; Fujita T. Phys.Rev. Lett., 1977, 39, p.174; Gorenstein H.I., Zinovjev G.M. ITP 78-168E, Kiev, 1979; Gudima K.K. JINR, E2-11307, Dubna, 1978; Комаров В.И., Мюллер Г. ОИЯИ, P2-12208, Дубна, 1979; Стрикман М., Франкфурт Л. Материалы XIII Школы ЛИЯФ, 1978.
4. Горнов М.Г. и др. ОИЯИ, P1-12183, Дубна, 1979; Арефьев и др. ЯФ, 1978, 28, 5, с.1304; Абдинов О.Б. и др. ОИЯИ, P1-12145, Дубна, 1979.
5. Nagamiya S. et al. Phys.Lett., 1979, 81B, p.147; Gyulassy M. LBL, LBL-6594, Berkeley, 1977.
6. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1979, 29, с.5; Абдинов О.Б. и др. ОИЯИ, P1-12067, Дубна, 1979.
7. Ахабабян Н. и др. ОИЯИ, 1-12114, Дубна, 1979.
8. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, P1-11302, Дубна, 1978.
9. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействия высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. Атомиздат, М., 1972.
10. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1976, 28, 5, с.1304.
11. Abdrachmanov E.O. et al. JINR, E1-11517, Dubna, 1978; Yad.Fiz., 1978, 28, p.1304.
12. Angelov N. et al. JINR, E1-12548, Dubna, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 февраля 1980 года.