

C-482



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1 - 10932

СЛОВИНСКИЙ  
Бронислав

ОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТИЦ  
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  $\pi$ -МЕЗОНОВ  
С ЯДРАМИ КСЕНОНА  
И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
СТРУКТУРЫ АТОМНОГО ЯДРА

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук

Дубна 1977

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований в Дубне.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук  
член-корреспондент АН СССР  
профессор

М. Г. МЯЩЕРЯКОВ

доктор физико-математических наук

Л. И. САРЫЧЕВА

доктор физико-математических наук

В. К. ЛУКЬЯНОВ

Ведущее научно-исследовательское предприятие:

Институт теоретической и экспериментальной физики (Москва)

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1977 г.

Защита состоится " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1977 года

в \_\_\_\_\_ час. на заседании Специализированного совета Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна, Московской обл., Лаборатория высоких энергий ОИЯИ, конференц-зал).

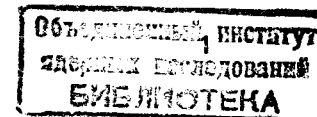
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Учёный секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук

М. Ф. ЛИХАЧЕВ

В настоящей диссертации изложены результаты исследования процессов взаимодействий  $\Pi^+$  - мезонов с импульсом 2,34 ГэВ/с и  $\Pi^-$  - мезонов с импульсом 3,5 ГэВ/с с ядрами ксенона. Эксперимент выполнен с помощью 26-литровой ксеноновой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ (далее в тексте КПК). Были также использованы стереофотографии 180-литровой КПК ИТЭФ (Москва)<sup>X</sup>. Целесообразность привлечения методики ксеноновых пузырьковых камер к исследованию взаимодействий быстрых пионов с ядерной мишенью продиктована следующими соображениями. Во-первых, наполняющее камеру вещество - жидкий ксенон - является химически однородной ядерной мишенью и поэтому регистрируемые камерой взаимодействия происходят практически (т.е. с вероятностью не менее 99%) с ядрами ксенона. Во-вторых, из-за относительной малости радиационной длины в жидком ксеноне ( $\sim 4$  см) КПК является весьма эффективным детектором гамма-квантов: КПК даже небольших размеров обладает близкой к 100% эффективностью регистрации гамма-квантов с энергией, превышающей практически (2+3) МэВ, в полном интервале углов их эмиссии. Это, в свою очередь, позволяет изучать с высокой эффективностью  $\Pi^0$  - мезоны в полном диапазоне энергии, от 0 до максимальной, и углов их эмиссии в пределах полного телесного угла, а также другие частицы, рожденные во взаимодействиях с ядрами ксенона и распадающиеся на  $\Pi^0$  - мезоны и гамма-кванты. В-третьих, КПК является 4Л детектором для протонов с кинетической энергией в интервале:  $E_K \approx (20+150)$  МэВ для 26-литровой КПК и  $E_K \approx (20+200)$  МэВ для 180-литровой КПК. В эти интервалы энергии попадает около 90% протонов с энергией, превышающей испаритель-

<sup>X</sup> Снимки были предоставлены в ЛВЭ ОИЯИ в рамках сотрудничества.



ную область ( $E_{\text{к}} \leq 30 \text{ МэВ}$ ), которые образуются в  $\text{P} + \text{Xe}$  взаимодействиях при 2,34 и 3,5 ГэВ/с, соответственно. В-четвертых, имеется подробно разработанная методика анализа событий взаимодействий, регистрируемых на снимках с ксеноновых пузырьковых камер, в особенности методика анализа гамма-квантов, сопровождающих ядерные взаимодействия при высоких энергиях. Эта методика разрабатывалась в течение многих лет, причем почти с самого начала при постоянном ведущем участии автора диссертации.

На основе перечисленных уникальных свойств ксеноновой пузырьковой камеры и имеющихся возможностей реализации исследований было проведено облучение 26-литровой КПК в пучке  $\text{P}^+$  - мезонов с импульсом 2,34 ГэВ/с. На полученном экспериментальном материале был выполнен цикл работ по изучению процессов рождения и распадов нейтральных бозонов, распадающихся на  $\text{P}^0$ -мезоны и гамма-кванты в конечном состоянии, а также цикл работ, в которых изучался механизм взаимодействия быстрых пионов с ядрами ксенона и некоторые отдельные, актуальные вопросы структуры атомного ядра. Результаты этих исследований в той или иной степени легли в основу настоящей диссертации.

Экспериментальный материал, на котором основана диссертация, состоит из результатов анализа 17557 событий  $\text{P} - \text{Xe}$  взаимодействий, отобранных при просмотре 750 тыс. снимков, полученных с помощью КПК.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые была применена методика ксеноновых пузырьковых камер к исследованию процессов множественного образования частиц в столкновениях быстрых пионов с тяжелым атомным ядром ( $A_{\text{Xe}}=131$ ). Это, в свою очередь, позволило впервые детально изучить харак-

теристики  $\text{P}^0$ -мезонов и нейтральных бозонных резонансов, образованных в этих взаимодействиях, а также протонов, испускаемых практически во всей области фрагментации ядра-мишени. Экспериментальная информация, относящаяся к эмиссии  $\text{P}^0$ - мезонов и протонов в  $\text{P} - \text{Xe}$  взаимодействиях при 2,34 и 3,5 ГэВ/с, даёт возможность более полным образом проверить различные концепции относительно механизма взаимодействия релятивистских адронов с атомными ядрами, а также существующие модели этих взаимодействий, в частности, каскадно-испарительную модель. Полученные нами результаты стимулировали дальнейшее развитие исследований взаимодействий быстрых адронов с атомными ядрами в других научных центрах (ФНАЛ, Батавия).

Практическая ценность состоит в том, что показана целесообразность привлечения методики ксеноновых пузырьковых камер к исследованиям взаимодействий релятивистских частиц с атомными ядрами в области энергий несколько ГэВ. В частности, результаты исследований продольного развития электронно-фотонных ливней, образованных гамма-квантами больших энергий ( $\geq 30 \text{ МэВ}$ ), представлены в удобном для практического использования виде и могут быть применены при расчётах параметров различных детекторов гамма-квантов высоких энергий. Получена оценка функции плотности вероятности распределения нуклонов ядра ксенона по импульсам, которая может быть использована при изучении различных физических процессов, а также фоновых явлений во взаимодействии с атомными ядрами. Показано, что уникальные свойства ксеноновой пузырьковой камеры как детектора ядерных взаимодействий целесообразно использовать при постановке экспериментов с применением других детекторов, обладающих возможностью более быстрого анализа экспе-

риментальной информации в узком интервале значений кинематических характеристик исследуемых частиц.

Проблематика взаимодействий быстрых адронов с атомными ядрами привлекает в последнее время особое внимание. Это связано с большим разнообразием информации, извлекаемой из соответствующих исследований, касающейся строения адронов и атомных ядер, взаимодействия частиц (особенно резонансов) с нуклонами, а также некоторых специфических явлений с участием многих тел, таких как образование ядерных ударных волн, возможность существования сверхплотных состояний ядерной материи, кумулятивный эффект. Накопленные до настоящего времени экспериментальные данные о взаимодействиях адронов с атомными ядрами в области значений энергии  $\geq 1$  ГэВ носят в значительной степени фрагментарный характер. Наиболее подробно изучены взаимодействия с легкими ядрами: дейтерием, гелием и углеродом. При этом, в силу известных методических трудностей, основное внимание уделялось исследованию заряженных продуктов реакции. Относительно слабо изучены взаимодействия релятивистских частиц со средними и тяжелыми ядрами. Здесь основная доля экспериментальной информации получена при помощи методики ядерных эмульсий. Заметно возрастает степень трудностей и при теоретическом изучении реакций со средними и тяжелыми ядрами при высоких энергиях, что связано с необходимостью применять различные приближения относительно структуры ядер. Тем временем некоторые интересные физические явления, например, явление ядерных ударных волн, могут иметь место только в столкновениях быстрых частиц с достаточно тяжелыми атомными ядрами, когда удовлетворено требование малости отношения длины пробега частицы к радиусу ядра, т.е., когда  $A^{1/3} \gg 1$  (для ксенона  $A^{1/3} \approx 5$ ).

Поэтому в ситуации, когда отсутствует теория сильных взаимодействий и отдельные явления приходится объяснять, привлекая различные модели, стоит задача о дальнейшем увеличении более полной экспериментальной информации, которая в сочетании с уже имеющейся дала бы возможность сделать более общие выводы о наблюдаемых явлениях. Существенно также подробнее изучить и проиллюстрировать на конкретных физических задачах пригодность уже действующей, дорогостоящей физической аппаратуры — детекторов ядерных взаимодействий, в области ядерной физики высоких энергий и релятивистской ядерной физики, которая в последние годы начала развиваться.

Поставленные выше задачи решаются в настоящей диссертации. В связи с этим в первой главе дается детальное описание основных характеристик КПК как детектора ядерных взаимодействий. Ксенонная пузырьковая камера позволяет наблюдать полную картину событий взаимодействий, вместе со всеми образованными в них  $\pi^0$ - мезонами и заряженными продуктами реакции. Основное внимание уделено методике анализа гамма-квантов, регистрируемых на снимках с КПК по создаваемым ими электронно-фотонным ливням. На рис. I показан типичный случай  $\pi^-$ -Xe взаимодействия при 3,5 ГэВ/с, зарегистрированный в 180-л. КПК ИТЭФ в Москве. В частности, получено удобное для практического использования описание процесса продольного развития электронно-фотонных ливней, вызванных гамма-квантами высоких энергий в жидком ксеноне. Так, например, флуктуации в лавине целесообразно выразить через относительную дисперсию  $\sigma_A/A$  параметра  $A = \frac{\sum r(d)}{\sum r}$ , где  $\sum r(d)$  — суммарная длина пробегов ливневых электронов в толщине  $d$  поглотителя, отсчитываемой от точки конвер-

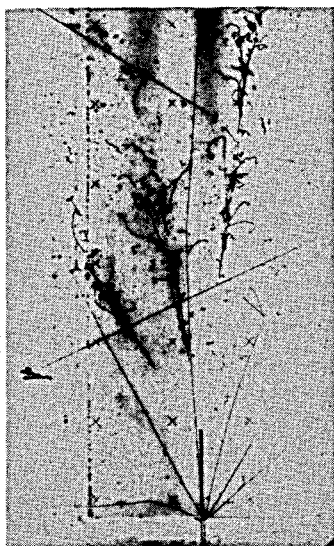


Рис.1. Случай  $\Pi$ - $\text{Xe}$  взаимодействия при 3,5 ГэВ/с, зарегистрированный в 180-литровой ксеноновой пузырьковой камере.

сии гамма-кванта, вдоль оси развития ливня;  $\Sigma r$  - суммарный пробег электронов ливня, соответствующий поглотителю практически бесконечной толщины. Оказалось, что вид зависимости  $\sigma_A/A$  от  $A$  не меняется, в пределах экспериментальных ошибок, в широком интервале значений энергии гамма-квантов:  $E_\gamma = (100 \pm 3400)$  МэВ /1+4/. На рис.2 показана зависимость  $\sigma_A/A$  от  $A$  для ливней, вызванных гамма-квантами с энергией  $E_\gamma = (1600 \pm 2700)$  МэВ.

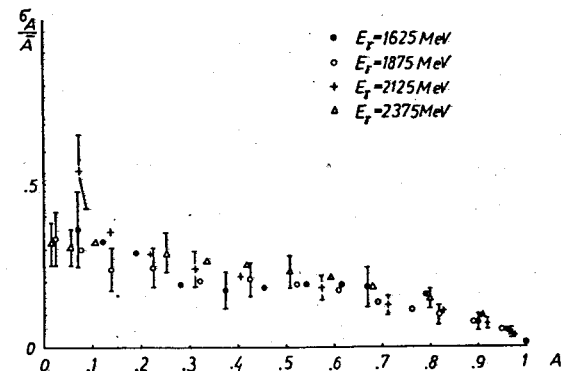


Рис.2. Относительные дисперсии  $\sigma_A/A$  доли  $A$  полной энергии электронно-фотонных ливней, соответствующие длине развития, на которой выделяется  $\bar{A}$  энергии ливня.

Показано, что ошибка в определении энергии гамма-квантов при  $E_\gamma \geq 100$  МэВ зависит, главным образом, от флуктуаций продольного развития ливней и выражается через параметр  $A$ . Приведены полученные автором диссертации формулы, позволяющие оценить энергию и соответствующую ей ошибку, а также статистический вес гамма-квантов, по наблюдаемой доле  $A$  суммарного пробега ливневых электронов, соответствующей глубине развития  $d$  вызванной гамма-квантом лавины /5-7/. В этой же главе дается описание алгоритма анализа систем, состоящих из произвольного числа гамма-квантов, сопровождающих случаи  $\Pi$ - $\text{Xe}$  взаимодействий, а также другие, созданные автором алгоритмы, в том числе про-

грамма анализа ядерных взаимодействий, регистрируемых на снимках с ксеноновых пузырьковых камер /8-II/.

В последующих главах диссертации изложены научные результаты исследований различных характеристик взаимодействий  $\Pi$ -мезонов с ядрами ксенона при 2,34 и 3,5 ГэВ/с. Эти исследования относятся к отдельным актуальным вопросам ядерной физики высоких энергий, представляющим большой научный и практический интерес. В решении этих вопросов методика ксеноновых пузырьковых камер может внести существенный вклад.

Во второй главе диссертации приведены результаты анализа распределений по множественности заряженных частиц и  $\Pi^0$ -мезонов, испускаемых в  $\Pi$ -Xe взаимодействиях при 2,34 и 3,5 ГэВ/с. Экспериментально полученные распределения по числу  $n$  всех - заряженных и нейтральных - вторичных частиц удовлетворительно описывает функция /12/:

$$p(n+1) = \left( A \frac{\lambda_1^n}{n!} e^{-\lambda_1} + B \frac{\lambda_2^n}{n!} e^{-\lambda_2} \right) (1-\alpha) + \alpha \delta_{1,n}, \quad (1)$$

где  $A = 0,3$ ,  $B = 0,7$ ,  $\alpha$  - коэффициент, учитывающий долю событий упругого рассеяния  $\Pi$ -мезонов на ядре;  $\delta_{1,n}$  - символ Кронеккера. Возможность представить распределение по множественности частиц в виде суперпозиции двух распределений вытекает из предложенной автором модели квазисвободных взаимодействий /13/, причем первый член описывает соответствующее распределение для класса однократных столкновений с квазисвободными нуклонами ядра-мишени, в которых вторичные внутриядерные взаимодействия несущественны. Согласно модели квазисвободных взаимодействий сечение таких каналов реакции составляет 0,3 от полного сечения неупругих  $\Pi$ -Xe взаимодействий.

Методика ксеноновых пузырьковых камер дала возможность детально изучить характеристики множественного образования  $\Pi^0$ -мезонов, а также образование нейтральных бозонных резонансов, распадающихся на  $\Pi^0$ -мезоны и гамма-кванты /14+16/. В таблице I приведены средние значения частоты испускания нейтральных пионов, рожденных в  $\Pi$ -Xe взаимодействиях в диапазоне энергий первичных  $\Pi$ -мезонов (2,3 + 9) ГэВ, в зависимости от числа  $N_3$  вторичных заряженных частиц.

Таблица I.

Средние значения частоты эмиссии  $\Pi^0$ -мезонов, образованных в  $\Pi$ -Xe взаимодействиях с различным числом  $N_3$  вторичных заряженных частиц.  $P_{\Pi}$  - импульс первичного  $\Pi$ -мезона.

$P_{\Pi}$ (ГэВ/с)	$N_3 \leq 3$	4-6	$\geq 7$	все
2,34	0,50 $\pm$ 0,04	0,63 $\pm$ 0,04	0,39 $\pm$ 0,03	0,51 $\pm$ 0,02
3,5	1,12 $\pm$ 0,07	0,94 $\pm$ 0,06	0,66 $\pm$ 0,06	0,88 $\pm$ 0,03
5	1,2 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,2
9	1,5 $\pm$ 0,2	1,6 $\pm$ 0,3	1,4 $\pm$ 0,2	1,5 $\pm$ 0,2

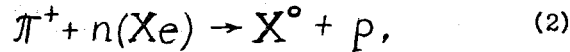
В таблице 2 даны значения вероятности образования различного числа  $\Pi^0$ -мезонов,  $\eta_{\Pi^0}$ , рожденных в  $\Pi^+$ -Xe взаимодействиях при 2,34 ГэВ/с и в  $\Pi^-$ -Xe взаимодействиях при 9 ГэВ/с.

Таблица 2.

Вероятности эмиссии различных чисел  $n_{\pi^0}$   $\Pi^-$ -мезонов.

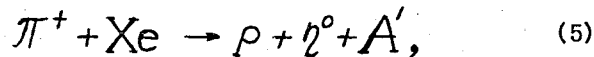
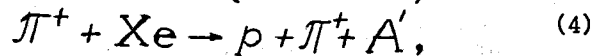
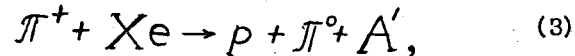
$n_{\pi^0}$	$\Pi^+$ -Xe при 2,34 ГэВ/с	$\Pi^-$ -Xe при 9 ГэВ/с
1	(77,1 $\pm$ 5,8) %	(45,5 $\pm$ 4,0)%
2	(18,0 $\pm$ 2,4) %	(36,5 $\pm$ 2,0)%
3	(4,5 $\pm$ 1,1) %	(10,1 $\pm$ 1,6)%
4	(0,4 $\pm$ 0,3) %	( 7,4 $\pm$ 0,8) %
5	-	(0,5 $\pm$ 0,5) %

Получено значение сечения образования  $\eta^0$ - и  $\omega^0$ - мезонов по их нейтральным модам распадов в квазидвухчастичном канале реакции



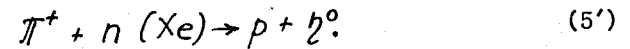
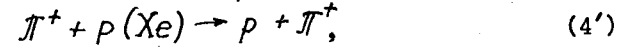
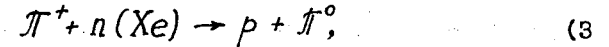
$\sigma(\eta^0) = (1,65 \pm 0,45)$  мбн и  $\sigma(\omega^0) = (3,63 \pm 0,99)$  мбн<sup>/17,18/</sup>, а также для  $\eta^0$ - мезонов, в классе квазисвободных взаимодействий  $\pi^+ + \text{Xe} \rightarrow (\eta^0 \text{ -нейтральные}) + (N_z \leq 3)$  при 2,34 ГэВ/с,  $\sigma = (14,7 \pm 5,4)$  мбн.

В главе третьей проводится анализ угловых и энергетических распределений протонов с  $E_K = (30+150)$  МэВ, испускаемых во взаимодействиях



$A'$  - остаточное ядро, при 2,34 ГэВ/с. Реакции (3), (4)

и (5) можно представить в следующем виде<sup>/13/</sup>:



Предполагая, что функция плотности распределения импульсов внутриядерных нуклонов достаточно хорошо аппроксимируется гауссовым распределением,  $f(p_F) \sim \exp(-p_F^2/2\rho_0)$ , можно получить путем численного моделирования на ЭВМ угловых распределений протонов из реакций (3), (4) и (5), оценку дисперсии:  $P_0 \approx 350$  МэВ/с<sup>/19,20/</sup>. На основании анализа двумерных распределений  $f_3(p, \theta_p)$  протонов из реакций (3)-и (4) по импульсам  $p$  и углам  $\theta_p$  их эмиссии можно также получить, независимо, оценку функции плотности распределения по импульсам внутриядерных нуклонов<sup>/21/</sup>:

$$f(p_F) = \int_{-1}^{+1} d\cos\theta_p \int_0^{2\pi} d\theta_p \int_0^{2\pi} \tilde{H}(p_F, \cos\theta_F, \theta_p, \varphi) d\varphi. \quad (6)$$

$$\tilde{H}(p_F, \cos\theta_F, \theta_p, \varphi) = \begin{cases} f_1(\varphi) f_2(\cos\theta_F) f_3(p, \theta_p) / |\gamma|, & \text{когда } p \text{ существует,} \\ 0, & \text{когда } p \text{ не существует.} \end{cases} \quad (7)$$

Здесь  $f_1(\varphi)$  и  $f_2(\cos\theta_F)$  - функции плотности распределения вектора  $\vec{p}_F$  по азимутальному углу и углу между вектором импульса первичной частицы и  $\vec{p}_F$ ;  $|\gamma|$  - кинематический множитель. В предположении справедливости гипотез (3') и (4') были получены, на основании формулы (6), численные значения функции  $f(p_F)$ , которые графически изображены на рис.3. Расчёт был выполнен как для случая, когда энергия  $E_K$  вторичных протонов  $E_K = (30+150)$  МэВ, так и в случае, когда экспериментально

наблюдаемое распределение протонов по импульсу и углам их эмиссии было экстраполировано в интервале  $E_k < 30$  МэВ. Вычисленные значения функции  $f(p_F)$  аппроксимировались фермиевским распределением:

$$f^{(1)}(p_F) = b \left\{ 1 + \exp \left[ \frac{p_F - c}{a} \right] \right\}^{-1}, \quad (8)$$

$$a = (202 \pm 4) \text{ МэВ/с}, \quad b = 1,4 \pm 0,3,$$

$$c = (207 \pm 9) \text{ МэВ/с}, \text{ с вероятностью } \sim 3,1\% \text{, и функцией:}$$

$$f^{(2)}(p_F) = \frac{b}{1 + \exp \left[ \frac{p_F - c}{a} \right]} + \alpha p_F^\beta \exp(-p_F/p_0), \quad (9)$$

$b = 0,98 \pm 0,08$ ,  $c = (0,24 \pm 0,03) \text{ ГэВ/с}$ ,  $a = (0,065 \pm 0,018) \text{ ГэВ/с}$ ,  $\alpha = 6,4 \pm 4,2$ ;  $\beta = 1,6 \pm 0,4$ ;  $p_0 = (0,23 \pm 0,04) \text{ ГэВ/с}$ , с вероятностью 19%. На рис.3 приведены также результаты аналогичных оценок функции  $f(p_F)$  для протонов из  $\Pi^+$ -Xe взаимодействий

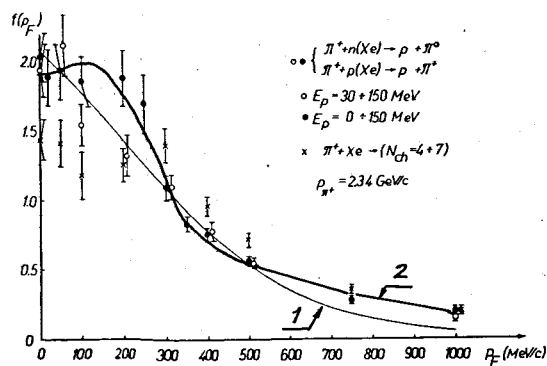


Рис.3. Значения функции  $f(p_F)$  импульсного распределения нуклонов ядра ксенона, определенной формулой (6). Линией 1 изображена аппроксимирующая кривая, рассчитанная по формуле (8). Кривая 2 соответствует функции (9).

при 2,34 ГэВ/с, сопровождающихся эмиссией  $N_3 = 4+7$  вторичных заряженных частиц. Эти взаимодействия заведомо отличаются от гипотез типа (3'), (4') и (5'), и соответствующие результаты могут служить в качестве иллюстрации чувствительности метода оценки функции  $f(p_F)$ .

В главе четвертой изложены результаты исследования инклюзивных спектров протонов, испускаемых во взаимодействиях



при 2,34 и 3,5 ГэВ/с. Изучена зависимость энергетических спектров этих протонов от множественности и углов их эмиссии, практически во всей области фрагментации ядра-мишени. Установлено, что релятивистски инвариантное эффективное сечение эмиссии протонов в реакции (10) удовлетворительно описывается экспоненциальной зависимостью /22,23/:

$$E_t \frac{d^3\delta}{dp^3} = a \cdot \exp(-E_p/\epsilon_0), \quad (11)$$

$E_t$ ,  $E_p$  - полная и кинетическая энергии протона,  $p$  - его импульс,  $a$  и  $\epsilon_0$  - параметры,  $E_p = (30 + 200) \text{ МэВ}$ .

Показано, что параметр наклона  $\epsilon_0$  в выражении (11) не зависит от множественности  $k$  протонов, испускаемых во взаимодействиях (10), для  $k \geq 3$ . Не наблюдается также зависимости, в пределах ошибок эксперимента, величины  $\epsilon_0$  от угла эмиссии протонов, испускаемых в кумулятивной области /24/.

Приведены результаты анализа угловых распределений протонов с  $E_p \geq 30 \text{ МэВ}$ , испускаемых в трех различных по числу  $N_3$  вторичных заряженных частиц классах  $\Pi^+$ -Xe взаимодействий при 2,34 ГэВ/с:  $N_3 \leq 4$ ,  $N_3 = 5+7$  и  $N_3 \geq 8$ . Так как  $\Pi^+$ -Xe взаимодействия с  $N_3 \geq 8$  соответствуют центральному, по параметру соударения, столкновениям  $\Pi$ -мезонов с ядрами ксенона, то



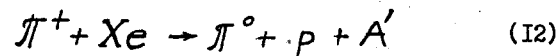
представляет интерес сравнить угловой спектр протонов из этого класса взаимодействий с аналогичным распределением протонов, испускаемых в классе центральных столкновений релятивистских альфа-частиц с тяжелыми ядрами эмульсии ( $Ag, Br$ ). В обоих случаях имеются наиболее благоприятные условия для образования ударных волн, причём в случае релятивистских альфа-частиц вероятность образовать ударную волну в ядре-мишени значительно больше, чем для  $\Pi$ -мезона. Установлено, что угловые распределения протонов из  $\Pi^+$ -Xe взаимодействий при 2,34 ГэВ/с и из реакции  $\alpha + (Ag, Br)$  при 17 ГэВ/с не различаются между собой в пределах экспериментальных ошибок /25/.

В конце четвертой главы приведены результаты сравнения двумерных распределений по энергии и углу эмиссии протонов, испускаемых в  $\Pi^+$ -Xe взаимодействиях при 2,34 и 3,5 ГэВ/с, с соответствующими распределениями, полученными на основании каскадно-испарительной модели (расчёт принадлежит В.Д.Тонееву). Столь подробная и разносторонняя проверка этой модели проведена впервые.

В пятой главе диссертации представлены результаты исследования угловых и энергетических распределений  $\Pi^0$ -мезонов, образованных в реакции перезарядки  $\Pi$ -мезонов на ядрах ксенона при 2,34 и 3,5 ГэВ/с. Аналогичный анализ выполнен также для  $\Pi^0$ -мезонов из  $\Pi$ -Xe взаимодействий, которые сопровождаются эмиссией двух  $\Pi$ -мезонов. Эти взаимодействия происходят, согласно модели квазисвободных взаимодействий /13/, главным образом в периферической области ядра-мишени и, следовательно, влияние вторичных внутриядерных процессов на характеристики частиц, образованных в первом акте столкновения, минимально. Таким образом, представляется возможным получить экспериментальную информацию как о

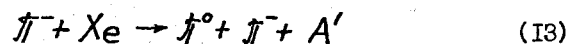
механизме отдельных каналов взаимодействия быстрых адронов с ядром, так и о некоторых свойствах периферии атомных ядер.

Измерено дифференциальное сечение образования  $\Pi^0$ -мезонов в реакции

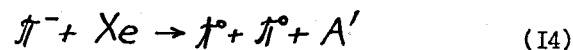


при 2,34 ГэВ/с, в зависимости от угла эмиссии нейтрального пиона. Полное сечение процесса (12) равно  $\sigma_{\pi^+Xe} = (3,05 \pm 0,75)$  мбн. В сопоставлении с величиной сечения реакции  $\pi^+p \rightarrow \pi^0n$  при 2,39 ГэВ/с,  $\sigma_{\pi^+p}^0 = (0,60 \pm 0,03)$  мбн, это означает, что ядро ксенона эквивалентно для реакций типа (12) пяти эффективным нейтронам /17/. Угловое распределение  $\Pi^0$ -мезонов из реакции (12) сравнивается с результатами расчёта, выполненного на основании модели многократного дифракционного рассеяния.

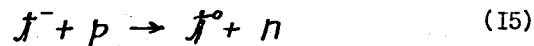
Приведены результаты анализа двумерных распределений по энергии  $E_{\pi^0}$  и углам эмиссии  $\theta_{\pi^0}$   $\Pi^0$ -мезонов из реакций



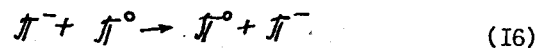
и



при 3,5 ГэВ/с /26-28/. На рис.4 показано такое распределение для  $\Pi^0$ -мезонов из взаимодействий (13). Нанесены там также кинематические кривые, соответствующие рассеянию



и



при той же энергии первичного  $\Pi$ -мезона. Крестами обозначена кривая регрессии значений углов эмиссии  $\theta_{\pi^0}$  относительно энергии  $E_{\pi^0}$ . Можно видеть, что кривая регрессии совпадает с ки-

нематической кривой, соответствующей (I6). Аналогичный результат получен также при исследовании  $\Pi^0$ -мезонов из реакции (I4).

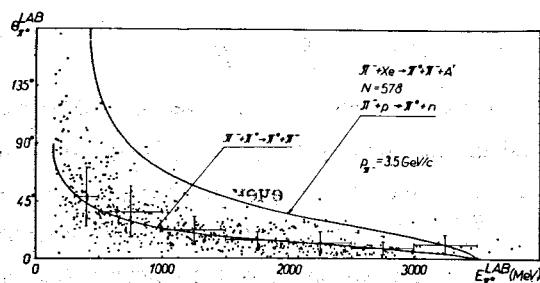


Рис.4. Распределение по углу эмиссии  $\theta_{\pi^0}$  и полной энергии  $E_{\pi^0}$  в лаб.  $\Pi^0$ - мезонов, образованных в реакции  $\Pi$ -Xe  $\rightarrow \pi^+ + \pi^- + A'$  при 3,5 ГэВ/с. Сплошные линии соответствуют кинематическим кривым для  $\Pi^0$ -мезонов из реакций  $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + n + \pi^0$  и  $\pi^- + \pi^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$  при 3,5 ГэВ/с. Кресты обозначают кривую регрессии  $\theta_{\pi^0}$  относительно  $E_{\pi^0}$ . По оси абсцисс отложены величины интервалов  $\Delta E_{\pi^0}$ , по которым проводилось усреднение. По оси ординат указаны величины дисперсии углового распределения  $\Pi^0$ -мезонов в данном энергетическом интервале.

Основные результаты и выводы, полученные в диссертации:

I. Решена проблема детектирования адрон-ядерных взаимодействий, сопровождающихся образованием практически любого числа нейтральных частиц, распадающихся на гамма-кванты. Разработана методика анализа гамма-квантов, регистрируемых в ксеноновых пузырьковых камерах.

2. На основе результатов исследования характеристик продольного развития электронно-фотонных ливней, вызванных гамма-квантами высоких энергий ( $E_{\gamma} \geq 30$  МэВ), получено удобное для практического использования описание их средних значений и флуктуаций в широком диапазоне энергий гамма-квантов.

3. Подробно изучено распределение по множественности частиц, в том числе  $\Pi^0$ -мезонов, образующихся в  $\Pi$ -Xe взаимодействиях при 2,34 и 3,5 ГэВ/с. Полученный результат указывает на преобладающую роль механизма независимой эмиссии частиц в этих столкновениях.

4. Установлено, что основным источником гамма-квантов в  $\Pi$ -Xe взаимодействиях в области энергий 2,34+ 9 ГэВ являются  $\Pi^0$ - мезоны, непосредственно образующиеся в результате взаимодействия. Доля гамма-квантов от нейтральных бозонных резонансов, распадающихся на  $\Pi^0$ - мезоны и гамма-кванты, по крайней мере, на два порядка меньше.

5. Получена величина дисперсии функции плотности распределения по импульсам внутриядерных нуклонов ядра ксенона:  $P_0 \approx 350$  МэВ/с. Определена функция плотности распределения по импульсам нуклонов ядра ксенона, которую аппроксимирует двухкомпонентная зависимость (9).

6. Впервые практически во всей области фрагментации ядра-мишени проведен детальный анализ угловых и энергетических спектров протонной компоненты, испускаемой во взаимодействиях пионов с ядрами ксенона при 2,34 и 3,5 ГэВ/с.

Установлено, что исследованные характеристики указывают на существование механизма каскадной эмиссии протонов в этих взаимодействиях.

7. Проведен анализ двумерных распределений по энергии и углу эмиссии  $P^0$ -мезонов, образованных в квазисвободных каналах взаимодействий  $\Pi$  - мезонов с ядрами ксенона при 2,34 и 3,5 ГэВ/с. Обнаружена значительная коллимация эмиссии  $P^0$ -мезонов в области значений энергий и углов эмиссии, соответствующая кинематически столкновениям с  $\Pi$  - мезонной мишенью. Полученный результат указывает на преобладающую роль механизма однопионного обмена в периферических пион-ядерных взаимодействиях в области энергий в несколько ГэВ.

8. Предложены пути дальнейшего применения ксеноновой пузырьковой камеры для решения ряда задач ядерной физики: изучения фермиевского движения внутриядерных нуклонов; изучения кумулятивных эффектов образования частиц в столкновениях релятивистских ядер с ядрами ксенона и других физических процессов.

Диссертация основана на экспериментальных результатах, полученных автором индивидуально и коллективом под его руководством во время работы автора в должности начальника сектора ксеноновых пузырьковых камер Научно-экспериментального камерного отдела Лаборатории высоких энергий ОИЯИ в Дубне в течение 1973-1977 гг. Эти результаты опубликованы в 28 научных и научно-методических статьях, перечисленных в списке литературы. Они докладывались автором на XIII Международной конференции по физике высоких энергий в Лондоне в 1974 г., на VI Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра в Санта-Фе (США)

в 1975 г. и на Международном симпозиуме по физике высоких энергий в Варшаве в 1975 г., а также, многократно, на научных и научно-методических семинарах, проводимых в ЛВЭ ОИЯИ.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б.Словинский, З.Стругальский, В.Хуберт. ЯФ, 16, вып.4, 734 (1972).
2. Б.Словинский, З.Стругальский, Б.Яновская. ЯФ, 9, вып. I, 120 (1969).
3. Л.С.Охрименко, Б.Словинский, З.Стругальский. ЯФ, 22, вып. I, 110 (1975).
4. Л.С.Охрименко, Б.Словинский, З.Стругальский, Б.Среднява. ОИЯИ, Е1-9210, Дубна, 1975.
5. И.А.Ивановская, Т.Канарек, Л.С.Охрименко, Б.Словинский, З.Стругальский, И.В.Чувило, З.Яблонский. ПТЭ, 2, 39 (1968).
6. Л.С.Охрименко, Б.Словинский, З.Стругальский. ОИЯИ, Р13-3918. Дубна, 1968.
7. Л.С.Охрименко, Б.Словинский, З.Стругальский. ОИЯИ, Р1-7500 Дубна, 1973.
8. Б.Словинский, ОИЯИ, Р10-7681 Дубна, 1974.
9. Б.Словинский, Б.Среднява, З.Стругальский, ОИЯИ, Р1-9198. Дубна, 1975.
10. Б.Словинский, А.Томашевич. ОИЯИ, Р10-7358, Дубна, 1973.
11. Б.Словинский, А.Томашевич. ОИЯИ, Р10-6418, Дубна, 1972.
12. Л.С.Охрименко, Б.Словинский, З.Стругальский, А.Томашевич. ЯФ, 19, вып.6, 1262 (1974).
13. Б.Словинский, ЯФ, 19, вып.3, 595 (1974).
14. Б.Словинский, З.Стругальский. ОИЯИ, Р1-6557, Дубна, 1972.

15. Б.Словинский, З.Стругальский. ОИЯИ, РІ-7439, Дубна, 1973.
16. Б.Словинский, З.Стругальский. ОИЯИ, РІ-6408. Дубна, 1972.
17. Б.Словинский, З.Стругальский, Б.Среднява. ОИЯИ, ЕІ-9084. Дубна, 1975.
18. З.Стругальский, И.В.Чувило, Т.Гемеши, И.А.Ивановская, З.Яблонский, Т.Канарек, С.Красновский, Л.С.Охрименко, Т.Иштер, Б.Словинский. ОИЯИ, ЕІ-5349, Дубна, 1970.
19. Б.Словинский, Б.Среднява, З.Стругальский, ЯФ, 25, вып. I. 128 (1977).
20. Б.Словинский, Б.Среднява, З.Стругальский. ОИЯИ, РІ-9413. Дубна, 1975.
21. Б.Словинский, Б.Среднява, З.Стругальский, А.Томашевич. ОИЯИ, Е2-10152, Дубна, 1976.
22. Б.Словинский, З.Стругальский. ЯФ, 25, вып. 3, 613 (1977).
23. Л.С.Охрименко, Я.Плюта, Б.Словинский, З.Стругальский. ОИЯИ, РІ-9692, Дубна, 1976.
24. Л.С.Охрименко, Я.Плюта, Б.Словинский, Б.Среднява, З.Стругальский. ОИЯИ, РІ- 9806, Дубна, 1976.
25. Б.Словинский, З.Стругальский. Письма в ЖЭТФ, 25, вып. 4, 211 (1977).
26. Л.С.Охрименко, Б.Словинский, З.Стругальский. ОИЯИ, РІ-9691. Дубна, 1976.
27. Л.С.Охрименко, Б.Словинский, Б.Среднява, З.Стругальский. ОИЯИ, РІ-9807. Дубна, 1976.
28. Л.С.Охрименко, Б.Словинский, Б.Среднява, З.Стругальский. ОИЯИ, РІ-10389, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
24 августа 1977 года.