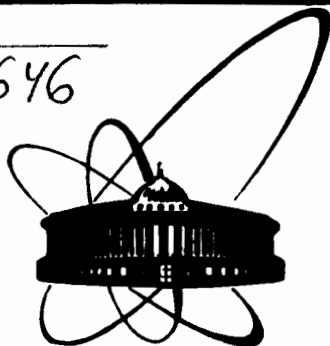


A-646



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3735/82

P1-82-334

Н.Ангелов, Н.Ахабабян, В.Г.Гришин

ИССЛЕДОВАНИЕ
РАЗМЕРОВ ОБЛАСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ
ВТОРИЧНЫХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПИОНОВ,
ОБРАЗОВАННЫХ
В π^-N И π^-C - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ 40 ГэВ/с,
В РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1982

§1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование методом интерференции тождественных частиц размеров области излучения вторичных адронов, образованных во взаимодействиях адронов при высоких энергиях, стало широко применимым подходом при изучении процессов множественного рождения /1-3/. В работе /4/ были определены размеры области генерации вторичных π^- -мезонов в лабораторной системе координат для π^-p -взаимодействий при 40 ГэВ/с: $r \approx 1,9 \pm 0,3$ фм и $cr \approx 0,8 \pm 0,2$ фм. Однако анализ пространственно-временных характеристик того же процесса в системе центра инерции позволил обнаружить два характерных размера: $r_1 \approx cr_1 \approx 1$ фм, связанный с непосредственной генерацией пионов, и $r_2 \approx cr_2 \approx 3$ фм, вероятно, обусловленный интерференцией пионов от распадов резонансов /5/. Естественно, что в разных системах отсчета проявляются различные пространственно-временные характеристики процессов, связанные с динамикой образования частиц.

В настоящее время множественные процессы при высоких энергиях рассматриваются как результат взаимодействия кварков, составляющих адроны. Это приводит к ряду предсказаний о характеристиках образующихся частиц. Например, как было показано в /6/, наблюдаемая асимметрия в спектре $d\sigma(\pi^-)/dx/x = 2p_{\parallel}^*/\sqrt{s}$, p_{\parallel}^* - продольный импульс в с.ц.и./ для вторичных частиц, образованных в π^-p -взаимодействиях, снимается, если перейти в с.ц.и. кварков, где $p_p = 3/2 p_{\pi^-} / p_p$ и p_{π^-} - импульсы первичных частиц/. Такая система отсчета в аддитивной кварковой модели адронов, в которой протон состоит из трех кварков, а пион - из двух, в импульсном приближении является системой центра инерции взаимодействующих кварков. Как было подтверждено в ряде последующих работ /7,8/, в такой системе симметрия восстанавливается и для других инклюзивных спектров, что стимулировало дальнейшее развитие кварковой модели для многочастичных процессов /9,10/. В этой связи представляет интерес изучение размеров области излучения вторичных пионов в различных системах отсчета.

В работе /11/ были определены размеры области излучения вторичных π^- -мезонов, образованных в π^-p -взаимодействиях при 40 ГэВ/с в различных системах отсчета. Оказалось, что минимальный размер этой области проявляется в с.ц.и. составляющих кварков. Этот результат можно интерпретировать как возможное проявление кварковой структуры адронов.

В настоящей работе этот эффект изучается более детально на основе экспериментального материала по измерению π^-p -, π^-p - и π^-C -взаимодействий, зарегистрированных в 2-метровой пропановой пузырьковой камере ЛВЭ ОИЯИ, облученной на ускорителе ИФВЭ /Серпухов/ π^- -мезонами с импульсами 40 ГэВ/с /14000, 6000 и 9000 событий соответственно/. Методические проблемы, связанные с обработкой этих событий, и их общие характеристики представлены в /12/.

Метод исследования основан на изучении интерференции между тождественными пионами, образованными в реакциях типа

$$a + b \rightarrow \pi_1 (P_1) + \pi_2 (P_2) + X, \quad /1/$$

где P_1 и P_2 - 4-импульсы вторичных частиц. Для одноименно заряженных пионов интерференция конструктивна и приводит к тому, что число пар $N(\pi_1, \pi_2)$ превышает число "фоновых" двухчастичных комбинаций пионов из разных событий $N_{\phi}(\pi_1, \pi_2)$:

$$D(q_0, \vec{p}) = \frac{n_{\phi}}{n} \frac{dN(\pi_1, \pi_2)}{dN_{\phi}(\pi_1, \pi_2)} = 1 + \Delta(q_0, \vec{p}), \quad /2/$$

где $q_0 = E_1 - E_2$, $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$, $E_1, E_2, \vec{p}_1, \vec{p}_2$ - энергии и импульсы пионов, n и n_{ϕ} - нормировочные множители. Функция $\Delta(q_0, \vec{p}) \rightarrow 1$ при $q_0, \vec{p} \rightarrow 0$ и $\Delta(q_0, \vec{p}) \rightarrow 0$ вне области интерференции, а ее явный вид зависит от конкретной модели распределения источников излучения. Для источников со временем жизни τ , расположенных на поверхности сферы радиуса r , функцию /2/ можно представить в виде

$$D(q_0, q_{\perp}^2) = a \left\{ 1 + \lambda \frac{(2J_1(q_{\perp} r) / q_{\perp} r)^2}{(1 + q_0 \tau)^2} \right\}, \quad /3/$$

где $\vec{q}_{\perp} = \vec{q} - (\vec{q}, \vec{n})$, $\vec{q} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2$, $n = \frac{\vec{p}}{p}$, $J_1(q_{\perp} r)$ - функция Бесселя первого рода, a - нормировочный коэффициент, λ - множитель, который учитывает влияние ряда методических факторов и возможные специфические корреляции /13, 14/. Когда статистика событий не позволяет аппроксимировать двумерные распределения /3/, то анализ обычно проводится на основе одномерных распределений типа

$$R(q_{\perp}^2) = \frac{n_{\phi}}{n} \frac{dN(\pi_1, \pi_2)}{dN_{\phi}(\pi_1, \pi_2)} = a \left\{ 1 + \lambda \frac{4J_1^2(q_{\perp} r)}{(q_{\perp} r)^2} \right\}, \quad /4/$$

которые получаются из /3/ интегрированием по $q_0 \leq \text{const.}$

§2. РАЗМЕРЫ ОБЛАСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ПИОНОВ
 ДЛЯ ПИОН-НУКЛОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА

Экспериментальные результаты были получены путем аппроксимации распределений типа /4/ в различных системах отсчета,

определяемых отношением импульсов сталкивающихся частиц: $R = \frac{p_p}{p_{\pi^-}}$.

Тогда, например, $R=0$ соответствует лабораторной системе координат /протон покоится/, $R=1$ - системе центра инерции пиона и нуклона, $R=1,5$ - системе центра инерции кварков, $R \rightarrow \infty$ - антилабораторной системе координат /пион покоится/.

В табл.1 представлены значения радиуса r для π^-p - и π^-n - взаимодействий при 40 ГэВ/с при $q_0^* \leq 300$ МэВ в каждой системе отсчета и без ограничения на q_0^* . Несмотря на значительные ошибки*, видно, что значение r меняется в зависимости от R и минимум этого параметра во всех случаях получается при $R=1,5$, что соответствует "кварковой" системе отсчета. Значения λ не меняются существенно с изменением R и уменьшаются с увеличением q_0^* .

Одинаковое поведение зависимости $r=f(R)$ для π^-p - и π^-n - взаимодействий позволяет рассматривать эти процессы совместно для увеличения статистики:

$$\pi^- + N(p, n) \rightarrow \pi_1^- + \pi_2^- + X. \quad /5/$$

В табл.2 представлены полученные для /5/ значения $r=f(R)$, которые повторяют ход зависимости этого параметра для взаимодействий пионов с протонами или нейтронами по отдельности /табл.1/.

Полученный результат можно понять на простом примере. Если предположить, что регистрируемые нами пионы - результат адронизации кварков, разлетающихся в "собственной" системе в противоположные стороны с одинаковыми импульсами, то "размер" этого объекта будет: $l_a = 2r\gamma_a c$, где r - время "адронизации" разлетающихся кварков, γ_a - лоренц-фактор этих частиц. Тогда во всякой другой системе отсчета, движущейся относительно "кварковой" системы с лоренц-фактором γ , размер l_a^* будет равен:

$$l_a^* = x_2^* - x_1^* = \gamma_2^* r c - \gamma_1^* r c = \gamma (\gamma_a - \beta V_a) r c - \gamma (\gamma_a + \beta V_a) r c = \gamma 2\gamma_a r c = \gamma l_a \quad /6/$$

* Следует отметить, что приведенные ошибки в определении r для разных систем отсчета сильно скоррелированы. Поэтому относительные изменения r на самом деле определяются с меньшими ошибками.

Таблица 1

Размеры области излучения π^- -мезонов в π^-p - и π^-n - взаимодействиях в разных системах отсчета / r , Фм/

$R = \frac{p_p}{p_{\pi^-}}$	$\pi^-p \rightarrow \pi_1^- + \pi_2^- + \dots$		$\pi^-n \rightarrow \pi_1^- + \pi_2^- + \dots$	
	$q_0^* \leq 300$ МэВ	Все события	$q_0^* \leq 300$ МэВ	Все события
0,0	2,30±0,35	2,49±0,26	1,88±0,35	1,98±0,32
0,25	2,21±0,23	2,19±0,22	1,91±0,36	1,88±0,33
0,5	2,04±0,21	1,96±0,22	1,80±0,27	1,82±0,32
0,75	1,77±0,20	1,83±0,18	1,80±0,28	1,81±0,36
1,0	1,67±0,18	2,05±0,17	1,76±0,35	1,83±0,38
1,25	1,54±0,16	1,95±0,18	1,49±0,30	1,88±0,41
1,5	1,47±0,18	1,73±0,16	1,28±0,32	1,80±0,35
1,75	1,55±0,20	1,75±0,15	1,37±0,30	1,72±0,34
2,0	1,62±0,23	1,85±0,17	1,74±0,30	1,85±0,34
2,5	1,71±0,25	1,89±0,19	1,90±0,33	1,91±0,36
3,0	1,88±0,24	1,91±0,18	2,08±0,35	1,89±0,34
4,0	1,93±0,25	1,98±0,21	2,11±0,36	1,96±0,35
5,0	1,95±0,25	2,08±0,19	2,17±0,37	1,95±0,35
10,0	2,33±0,28	2,17±0,20	2,23±0,32	2,06±0,33
100,0	2,71±0,37	2,39±0,23	2,51±0,39	2,29±0,36
λ	0,33 ±0,03	0,18±0,02	0,35±0,05	0,21±0,04

/здесь x_2^* , x_1^* - координаты точек "адронизации" пионов 1 и 2 в новой системе отсчета/. Таким образом, l_a^* будет минимальным при $\gamma=1$, т.е. в "собственной" системе. Поэтому наблюдаемый минимум значения r при $R=1,5$ означает, что для пион-нуклонных взаимодействий "собственная" система является "кварковой" системой инерции в аддитивной кварковой модели.

Таблица 2

Размеры области излучения π^- -мезонов в π^-N -взаимодействиях в разных системах отсчета / Γ , Фм/

$R = \frac{P_p}{P_{\pi^-}}$	$\pi^-N \rightarrow \pi_1^- + \pi_2^- + \dots$		
	$q_c^* \leq 100$ МэВ	$q_c^* \leq 300$ МэВ	Все события
0,0	1,96±0,34	2,53±0,26	1,89±0,20
0,25	1,69±0,28	1,94±0,18	1,77±0,20
0,5	1,93±0,26	1,81±0,18	1,74±0,21
0,75	1,80±0,23	1,71±0,18	1,68±0,20
1,0	1,93±0,20	1,75±0,16	1,67±0,20
1,25	1,64±0,19	1,70±0,17	1,71±0,21
1,5	1,54±0,20	1,57±0,16	1,52±0,20
1,75	1,80±0,22	1,67±0,18	1,58±0,20
2,0	1,78±0,24	1,84±0,20	1,63±0,20
2,5	1,80±0,24	1,93±0,21	1,68±0,22
3,0	1,82±0,25	2,08±0,22	1,66±0,18
4,0	1,87±0,25	2,14±0,22	1,73±0,19
5,0	1,91±0,27	2,21±0,23	1,71±0,19
10,0	1,93±0,26	2,44±0,25	1,79±0,18
100,0	1,88±0,31	2,69±0,27	1,85±0,17
$\langle \lambda \rangle$	0,56±0,07*	0,29±0,03**	0,19±0,02

Кроме: $\lambda_{(R=0)} = 0,76 \pm 0,12$; $\lambda_{(R=100)} = 0,85 \pm 0,13$.

Кроме: $\lambda_{(R=0)} = 0,55 \pm 0,08$; $\lambda_{(R=100)} = 0,62 \pm 0,08$.

§3. ПРОДОЛЬНЫЕ И ПОПЕРЕЧНЫЕ РАЗМЕРЫ ОБЛАСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПИОНОВ В РАЗНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА

При изучении пространственно-временных характеристик области излучения вторичных π^- -мезонов, образованных в π^-p -взаимодействиях, было обнаружено, что в с.ц.и. "поперечные" размеры составляют $r_{\perp} \approx cr_{\parallel} \approx /2,5 \pm 3,0/$ Фм, а "продольные" размеры $r_{\parallel} \approx cr_{\perp} \approx /1,5 \pm 2,0/$ Фм^{1/5}. Аналогичный анализ в разных системах отсчета был проделан и для π^-N -взаимодействий.

Таблица 3

Продольные и поперечные размеры области излучения π^- -мезонов в π^-N -взаимодействиях в разных системах отсчета

$R = \frac{P_p}{P_{\pi^-}}$	$\pi^-N \rightarrow \pi_1^- + \pi_2^- + \dots$	
	$r_{\perp}, [\text{Фм}]$	$r_{\parallel}, [\text{Фм}]$
0,0	2,65±0,32	-
0,25	2,75±0,65	2,13±0,41
0,5	2,69±0,63	2,04±0,28
0,75	2,83±0,55	1,66±0,25
1,0	2,86±0,49	1,66±0,26
1,25	2,86±0,57	1,62±0,28
1,5	2,77±0,66	1,54±0,29
1,75	2,76±0,52	1,79±0,30
2,0	2,68±0,46	2,31±0,38
2,5	2,75±0,44	2,40±0,41
3,0	2,73±0,42	2,46±0,57
4,0	2,76±0,50	2,38±0,54
5,0	2,75±0,53	2,40±0,61
10,0	2,77±0,58	-
100,0	2,84±0,60	-
$\langle \lambda \rangle$	0,45±0,10	0,31±0,06

В табл.3 представлены полученные значения параметров r_{\perp} и r_{\parallel} в зависимости от R для пар пионов, летящих в конусе $\theta_{\pi\pi} \leq 30^\circ (r_{\perp})$ и в угловом интервале $60^\circ \leq \theta_{\pi\pi} < 120^\circ (r_{\parallel})$ относительно оси столкновения первичных частиц. Как видно из таблицы, поперечные размеры всегда больше продольных и не меняются в зависимости от R, в то время как для продольного размера, хотя и со значительными ошибками, имеется тенденция к уменьшению r_{\parallel} при $R \approx 1,5$. Поэтому обнаруженный минимум в размере области излучения вторичных пионов, вероятно, связан в основном с изменением продольных размеров этой области.

§4. ЗАВИСИМОСТЬ РАЗМЕРОВ ОБЛАСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПИОНОВ В π^-C -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ОТ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА

Обнаруженный эффект проявления минимума $\gamma = f(R)$ вероятно, связан с неодинаковым числом кварков в первичных частицах $\frac{n_q(\rho)}{n_q(\pi)} = 3/2$. Поэтому представляет интерес исследование зависимости $\gamma = f(R)$ и для других типов взаимодействий. Одну такую возможность предоставляет имеющийся экспериментальный материал

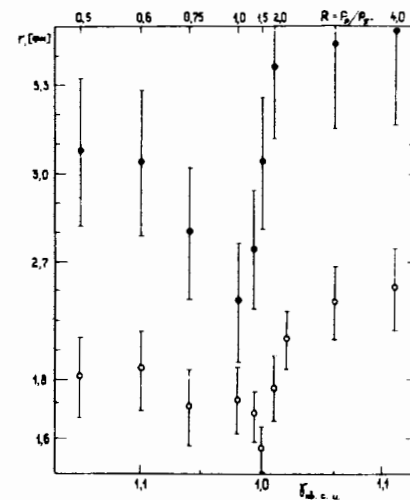
Таблица 4

Размеры области излучения π -мезонов в π^-C -взаимодействиях в разных системах отсчета / γ , ФМ/

$R = \frac{P_p}{P_{\pi^-}}$	$\pi^-C \rightarrow \pi_1^- + \pi_2^- + \dots$	
	$q_0^* \leq 300$ МэВ	Все события
0,0	$3,60 \pm 0,48$	$2,48 \pm 0,28$
0,25	$3,27 \pm 0,31$	$2,74 \pm 0,29$
0,5	$3,09 \pm 0,28$	$2,43 \pm 0,27$
0,75	$2,79 \pm 0,27$	$2,41 \pm 0,28$
1,0	$2,57 \pm 0,26$	$2,37 \pm 0,28$
1,25	$2,74 \pm 0,27$	$2,76 \pm 0,32$
1,5	$3,04 \pm 0,29$	$3,02 \pm 0,35$
1,75	$3,48 \pm 0,32$	$3,11 \pm 0,35$
2,0	$3,37 \pm 0,30$	$2,94 \pm 0,33$
2,5	$3,41 \pm 0,32$	$3,08 \pm 0,35$
3,0	$3,44 \pm 0,29$	$3,03 \pm 0,34$
4,0	$3,67 \pm 0,36$	$3,01 \pm 0,31$
5,0	$3,85 \pm 0,28$	$2,97 \pm 0,30$
10,0	$3,71 \pm 0,32$	$3,07 \pm 0,33$
100,0	$4,09 \pm 0,38$	$2,98 \pm 0,46$
$\langle \lambda \rangle$	$0,30 \pm 0,05^*$	$0,16 \pm 0,03$

Кроме: $\lambda_{(R=0)} = 0,44 \pm 0,09$; $\lambda_{(R=100)} = 0,48 \pm 0,07$.

по π^-C -взаимодействиям при 40 ГэВ/с / ~9000 событий, в которые не включены квазинуклонные π^-p - и π^-n -взаимодействия/. В этом случае взаимодействие пионов происходит, как правило, с несколькими нуклонами ядра углерода.



Значения размеров области излучения γ в зависимости от лоренц-фактора движущихся систем относительно "кварковой" системы отсчета ($u_{кв.с.} = 1$) для π^-N - (○) и π^-C - (●) взаимодействий при $p = 40$ ГэВ/с / $q_0^* \leq 300$ МэВ/.

В табл.4 представлены полученные результаты для этого процесса. Видно, что в этом случае минимум смещается в сторону $R=1$. На рисунке для сравнения представлены значения параметра γ в зависимости от лоренц-фактора движущихся систем относительно "кварковой" системы отсчета ($u_{кв.с.} = 1$)

для π^-N - и π^-C -взаимодействий при $q_0^* \leq 300$ МэВ. Из рисунка видна разница в поведении исследуемой зависимости $\gamma = f(R)$ для двух рассматриваемых процессов. Минимум γ при $R=1$ для π^-C -взаимодействий можно объяснить значительным вкладом многокварковых взаимодействий в пион-ядерных столкновениях при высоких энергиях.

§5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты экспериментального определения с помощью метода интерференции тождественных частиц размеров области излучения вторичных пионов в различных системах отсчета указывают на их существенную зависимость от выбранной системы координат. При этом минимум $\gamma = f(R)$ для пион-нуклонных взаимодействий проявляется при $R=1,5$, что можно интерпретировать в аддитивной кварковой модели как проявление кварковой структуры сталкивающихся частиц. Анализ зависимости размеров области излучения пионов от системы отсчета для π^-C -взаимодействий показывает смещение минимума в сторону с.ц.и. π^-N , что можно объяснить значительным вкладом многокварковых взаимодействий в пион-ядерных столкновениях.

Все это дает основание считать, что исследование пространственно-временных характеристик области излучения вторичных частиц в различных системах отсчета дает новую и интересную информацию, связанную с динамикой процессов множественного образования: проявление кварковой структуры взаимодействующих частиц, длина и время "адронизации" кварков, область конфайнмента и др. В связи с этим представляют интерес дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования интерференционных эффектов в движущихся системах координат.

Авторы с глубоким волнением вспоминают стимулирующий интерес к работе В.М.Шехтера на начальном этапе этих исследований и признательны М.И.Подгорецкому за постоянную поддержку и многочисленные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копылов Г.И., Подгорецкий М.И. ЯФ, 1972, 15, с.392; ЯФ, 1973, 18, с.656; ЯФ, 1974, 19, с.434.
2. Kopylov G.I. Phys.Lett., 1974, 50B, p.412.
3. Гришин В.Г. УФН, 1979, 127, с.51.
4. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1981, 33, с.2257.
5. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1982, 35, с.76.
6. Elbert J.W., Erwin A.R., Walker W.D. Phys.Rev., 1971, D3, p.2042.
7. Гришин В.Г. и др. ЯФ, 1977, 16, с.1114.
8. Диденко Л.А., Мурзин В.С., Сарычева Л.И. Асимметрия адронных взаимодействий. "Наука", М., 1981.
9. Anisovich V.V., Shekhter V.M. Nucl.Phys., 1973, B55, p.455.
10. Анисович В.В., Шехтер В.М. В сб.: Глубоконеупругие и множественные процессы. ОИЯИ, Д1,2-7411, Дубна, 1973, с.428.
11. Aghababian N., Angelov N., Grishin V.G. C.R.Bulg.Ac.Sci., 1982, vol.35, p.620.
12. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, P1-81-496, Дубна, 1981.
13. Ледницкий Р., Подгорецкий М.И. ОИЯИ, P2-12205, Дубна, 1979.
14. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1975, 21, с.328.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 мая 1982 года.

Ангелов Н., Ахабабян Н., Гришин В.Г. P1-82-334
Исследование размеров области излучения вторичных отрицательных пионов, образованных в π^-N - и π^-C - взаимодействиях при 40 ГэВ/с в различных системах отсчета

Методом интерференции тождественных частиц определены размеры области излучения вторичных пионов, образованных в π^-N - и π^-C -взаимодействиях при 40 ГэВ/с, в зависимости от системы отсчета. Установлено, что для пион-нуклонных взаимодействий минимальный размер этой области проявляется в "кварковой" системе отсчета, что свидетельствует о доминирующей роли однокварковых взаимодействий во множественных процессах. В пион-ядерных соударениях минимум размера области излучения вторичных пионов смещен в сторону с.д.и. π^-N , что можно интерпретировать как увеличение вклада многокварковых взаимодействий в эти процессы.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Akhababian N., Angelov N., Grishin V.G. P1-82-334
Study of Dimensions of the Radiation Region of Secondary Negative Pions Produced in π^-N and π^-C Interactions at 40 GeV/c in Different Reference Frames

Dimensions of the radiation region in π^-p , π^-n and π^-C interactions at 40 GeV/c are determined by the method of interference of identical secondary particles. It is found that for pion-nucleon collisions a minimum of this region manifests itself in the "quark" reference frame, which is indicative of a dominant role of one-quark interactions in multiparticle processes. In pion-nucleus collisions a minimum of the generation region of secondary pions is shifted to the π^-N c.m.s.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод Л.С.Барабаш.