

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

3674/83

18/7-83

P1-83-252

РАЗМЕРЫ  
ОБЛАСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ПИОНОВ,  
ОБРАЗОВАННЫХ  
В МНОГОНУКЛОННЫХ СТОЛКНОВЕНИЯХ  
ЯДЕР D, He и C С ЯДРАМИ C и Ta  
ПРИ 4,2 ГэВ/с·нуклон

Направлено в журнал "Ядерная физика"

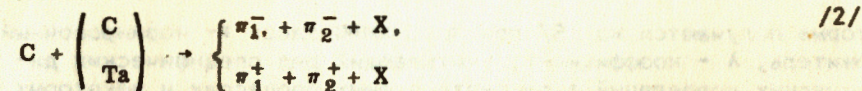
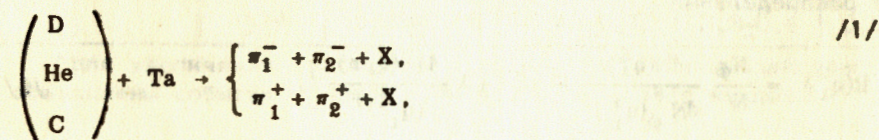
1983

Г.Н.Агакишиев, Д.Армутлийски, Н.Ахабабян, Е.Бартке,  
 Е.Богданович, А.П.Гаспарян, Н.С.Григалашвили, В.Г.Гришин,  
 Л.А.Диденко, И.А.Ивановская, Т.Канарек, Е.Н.Кладницкая,  
 М.Ковальски, Д.К.Копылова, В.Б.Любимов, З.В.Метревели,  
 Р.Р.Мехтиев, В.Ф.Никитина, В.М.Попова, М.И.Соловьев, А.Н.Соломин,  
 Г.П.Тонеева, А.П.Чеплаков, Л.М.Щеглова

## §1. ВВЕДЕНИЕ

Метод определения пространственно-временных характеристик области излучения вторичных частиц на основе интерференции тождественных пионов <sup>/1/</sup> был использован еще в первых экспериментах с релятивистскими ядрами <sup>/2,3/</sup>. Информативность и перспективность этого подхода при изучении ядро-ядерных столкновений при высоких энергиях послужили основанием для постановки специализированных электронных экспериментов <sup>/4,5/</sup>. Одновременно был рассмотрен ряд теоретических <sup>/6,7/</sup> и методических проблем <sup>/8,9/</sup>, возникающих при таких исследованиях.

В настоящей работе представлены результаты исследования размеров области излучения вторичных положительных и отрицательных пионов, образованных во взаимодействиях типа



при импульсе 4,2 ГэВ/с·нуклон. Экспериментальный материал получен на 2-метровой пропановой камере ЛВЭ ОИЯИ с тремя танталовыми пластинками толщиной в 1 мм, размещенными в рабочем объеме камеры. Методика обработки фотографий, основные характеристики зарегистрированных событий и некоторые физические результаты исследования этих взаимодействий представлены в работах <sup>/10,11/</sup>.

Эффект интерференции тождественных частиц приводит для одноименно заряженных пионов /с 4-импульсами  $P_1(E_1, \vec{p}_1)$  и  $P_2(E_2, \vec{p}_2)$  / к увеличению вероятности обнаружения таких пар по сравнению со случаем, когда нет интерференции:

$$W(P_1, P_2) = [1 + \Delta(\vec{q}, \vec{p})] W_\phi(P_1, P_2). \quad /3/$$

где  $\vec{q} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2$ ,  $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ ,  $W_\phi$  - плотность вероятности наблюдения пар пионов в отсутствие интерференции. Функция  $\Delta(\vec{q}, \vec{p}) \rightarrow 1$  при  $\vec{q} \rightarrow 0$  и  $\Delta(\vec{q}, \vec{p}) \rightarrow 0$  вне области интерференции; конкретный ее вид зависит от модели образования вторичных частиц. Например, если источники с временами жизни  $\tau$  "включаются" одновременно и расположены на поверхности сферы радиуса  $r$ , то, как было показано в <sup>/12/</sup>,

Значения параметров  $\alpha$ ,  $\lambda$  и  $\gamma$  /Фм/ для области излучения  $\pi^-$ - и  $\pi^+$ -мезонов, образованных в столкновениях ядер D, He и C с ядрами Ta /в л.с.к. при  $q_0 \leq 0,300$  ГэВ/

Тип взаим.	Число событий	Тип частиц	$\alpha$	$\lambda$	$\gamma$ /Фм/	$\chi^2/ст.св.$
DTa	I507	$\pi^-$	$0,94 \pm 0,05$	$0,54 \pm 0,16$	$2,2 \pm 0,5$	1,19
		$\pi^+$	-	-	-	-
HeTa*	I409	$\pi^-$	$0,93 \pm 0,04$	$0,57 \pm 0,15$	$2,9 \pm 0,4$	1,24
		$\pi^+$	$0,92 \pm 0,07$	$0,46 \pm 0,15$	$2,5 \pm 0,5$	0,96
CTa	I223	$\pi^-$	$0,90 \pm 0,03$	$0,43 \pm 0,11$	$3,4 \pm 0,3$	1,17
		$\pi^+$	$0,88 \pm 0,06$	$0,45 \pm 0,13$	$2,8 \pm 0,4$	0,93

\* для увеличения статистики в графе He Ta - взаимодействий объединены события с импульсом 4,2 и 5,1 ГэВ/с нуклон.

$$\Delta(\vec{q}, \vec{p}) = \frac{[2J_1(q_{\perp} r)/q_{\perp} r]^2}{(1 + (q_0 r)^2)} \quad /4/$$

где  $q_0 = E_1 - E_2$ ,  $\vec{q}_{\perp} = \vec{q} - \vec{p}(\vec{q} \cdot \vec{p})/p^2$ ,  $\vec{p} = \frac{\vec{p}}{|\vec{p}|}$ ,  $J_1(q_{\perp} r)$  - функция Бесселя первого порядка.

Экспериментальное исследование сводится к анализу распределений

$$D(q_0, q_{\perp}^2) = \frac{N_{\phi}}{N} \frac{dN(q_0, q_{\perp}^2)}{dN_{\phi}(q_0, q_{\perp}^2)} \quad /5/$$

где  $dN(q_0, q_{\perp}^2)$  - число пар пионов, образованных в одних и тех же событиях с данными  $q_0$  и  $q_{\perp}^2$ ;  $dN_{\phi}(q_0, q_{\perp}^2)$  - число пар пионов из разных случайных событий с такими же  $q_0$  и  $q_{\perp}^2$ , рассматриваемых как "фоновые" /без интерференции/;  $N$  и  $N_{\phi}$  - нормировочные множители. Интересующие нас параметры  $\alpha$  и  $\lambda$  определяются путем аппроксимации распределений /5/ функциями вида /4/. Часто из-за ограниченности статистического материала анализируются одномерные распределения

$$R(q_{\perp}^2) = \frac{N_{\phi}}{N} \frac{dN(q_{\perp}^2)}{dN_{\phi}(q_{\perp}^2)} = \alpha [1 + \lambda \frac{4J_1^2(q_{\perp} r)}{(q_{\perp} r)^2}] \quad /6/$$

которые получаются из /5/ при  $q_0 \leq const$ ; здесь  $\alpha$  - нормировочный множитель,  $\lambda$  - коэффициент, учитывающий ряд специфических динамических корреляций в рассматриваемых процессах и некоторых методических особенностей экспериментальной постановки /18,8/.

## §2. РАЗМЕРЫ ОБЛАСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПИОНОВ, ОБРАЗОВАННЫХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЛЕГКИХ ЯДЕР С ЯДРАМИ Ta

В табл.1 представлены значения параметров  $\alpha$ ,  $\lambda$  и  $\gamma$ , полученные при аппроксимации экспериментальных распределений  $R(q_{\perp}^2)$  для пар  $\pi^-$  и  $\pi^+$  вторичных мезонов функцией вида /6/. Параметры получены в лабораторной системе координат при  $q_0 \leq 0,300$  ГэВ. /для иллюстрации на рис.1 представлены эти распределения для пар  $\pi^-$ -мезонов, образованных в DTa- и CTa-столкновениях/. Несмотря на значительные статистические ошибки, связанные с ограниченностью экспериментального материала, можно утверждать, что радиусы области излучения вторичных отрицательных пионов растут с увеличением атомного номера ядра-снаряда. На рис.2 представлена зависимость  $\gamma_{\pi^-}$  от атомного веса  $A_1$  трех рассматриваемых ядер при столкновении с ядрами Ta. Изменение  $\gamma_{\pi^-}$  в первом приближении соответствует увеличению размера ядра-снаряда, однако оно остается всегда меньше размера ядра-мишени / $\gamma_{Ta} = 6,1$  Фм/.

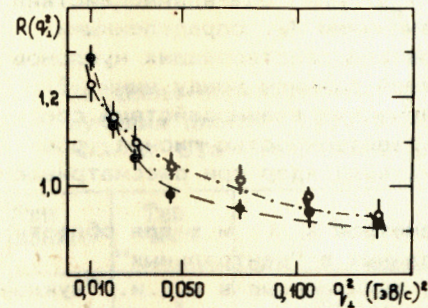


Рис.1. Распределение  $R(q_{\perp}^2)$  экспериментальных данных для пар  $\pi^-$ -мезонов, образованных в DTa (o) - и CTa (•) - столкновениях; аппроксимирующие кривые, полученные с помощью формулы /6/.

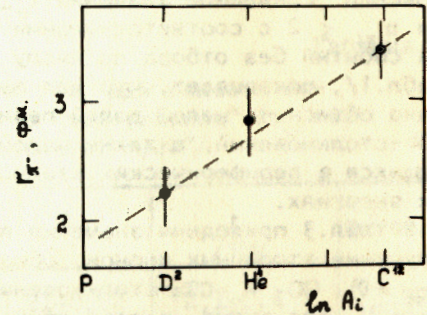


Рис.2. Зависимость  $\gamma_{\pi^-}$  от атомного веса ядра-снаряда для столкновения ядер D, He и C с ядрами Ta; аппроксимирующая прямая проведена от руки.

Для положительных пионов в  $\text{HeTa}$ - и  $\text{CTa}$ -столкновениях размер области их излучения в лабораторной системе координат в пределах ошибок сравним с размером области излучения отрицательных пионов\*. В методике пузырьковой камеры  $\pi^+$ -мезоны идентифицируются только при импульсах  $p_{\pi^+} \leq 0,7$  ГэВ/с, кроме того, среди  $\pi^+$ -мезонов имеется значительная доля  $\sim 10\%$  медленных протонов, которые могут оказать влияние на форму фоновых распределений для этих частиц. Меньшая разрешающая способность по  $q_0 = E_1 - E_2^{1/3}$  не позволяет определить "время жизни" источников пионов.

### §3. РАЗМЕРЫ ОБЛАСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ПИОНОВ В "ЦЕНТРАЛЬНЫХ СС- И СТа-СТОЛКНОВЕНИЯХ"

Экспериментальный материал по СС- и СТа-столкновениям позволяет исследовать процессы многонуклонных "центральных" взаимодействий при релятивистских энергиях<sup>14,15/</sup>. Для определения пространственных размеров области излучения пионов в "центральных" столкновениях нами были проанализированы такие взаимодействия, в которых нет многозарядных фрагментов ядра-снаряда с  $Z \geq 2$ , суммарный заряд всех вторичных частиц в событии  $Q > 7$  и число однозарядных стриппинговых частиц  $n_{st} \leq 2$  /протонов и дейтронов с импульсом  $p_p > 3$  ГэВ/с и углом вылета относительно первичного пучка  $\theta \leq 4^\circ$ /. В таких событиях в среднем взаимодействуют около 15 нуклонов.

В табл.2 приведены значения параметров  $a$ ,  $\lambda$  и  $\gamma$ , полученные для столкновений типа /2/ в случаях, когда  $n_{st} \leq 2$  и  $n_{st} = 0$ . Видна тенденция к увеличению  $\gamma_{\pi^-}$  и  $\gamma_{\pi^+}$  при переходе от событий с  $n_{st} \leq 2$  к событиям с  $n_{st} = 0$  как для СС-, так и для СТа-столкновений. Сравнение значений  $\gamma_{\pi^-}$  и  $\gamma_{\pi^+}$  для СТа-взаимодействий при  $n_{st} \leq 2$  с соответствующими значениями  $\gamma_{\pi}$ , определенными для событий без отбора по числу провзаимодействовавших нуклонов /табл.1/, показывает, что нет заметной разницы между ними. Это можно объяснить малой долей периферических взаимодействий среди СТа-столкновений, а также малой множественностью пионов, рождающихся в периферических взаимодействиях ядер при рассматриваемых энергиях.

В табл.3 приведены значения параметров  $a$ ,  $\lambda$  и  $\gamma$  для области излучения вторичных пионов, образованных в "центральных" ( $n_{st} = 0$ ) СС- и СТа-столкновениях, вычисленные в с.ц.и. "нуклон-нуклон". Как видно, в этом случае для обоих рассматриваемых процессов и типов вторичных пионов размеры области излучения значительно меньше, чем в лабораторной системе координат, и они приблизительно одинаковы и равны  $\gamma_{\pi^-, \pi^+} = 2$  Фм.

\*Ограниченность статистического материала не позволяет получить данные для  $\pi^+$ -мезонов, образованных в СТа-столкновениях.

Значения параметров  $a$ ,  $\lambda$  и  $\gamma$  /Фм/ для области излучения  $\pi^-$ - и  $\pi^+$ -мезонов, образованных в многонуклонных соударениях ядра С с ядрами С и Та /в л.с.к. при  $q_0 = 0,300$  ГэВ/с/

	Тип взаим.	Тип част.	a	$\lambda$	$\gamma$ /Фм/	$\chi^2$ /ст.св.
$n_{st} \leq 2$	СС	$\pi^-$	$0,92 \pm 0,03$	$0,51 \pm 0,15$	$3,0 \pm 0,6$	1,09
		$\pi^+$	$0,88 \pm 0,05$	$0,42 \pm 0,14$	$2,6 \pm 0,6$	1,16
	СТа	$\pi^-$	$0,89 \pm 0,03$	$0,49 \pm 0,12$	$3,5 \pm 0,4$	0,96
		$\pi^+$	$0,86 \pm 0,04$	$0,43 \pm 0,11$	$2,3 \pm 0,5$	1,22
$n_{st} = 0$	СС	$\pi^-$	$0,93 \pm 0,03$	$0,37 \pm 0,10$	$3,6 \pm 0,7$	1,33
		$\pi^+$	$0,90 \pm 0,04$	$0,41 \pm 0,12$	$3,1 \pm 0,6$	0,94
	СТа	$\pi^-$	$0,94 \pm 0,03$	$0,29 \pm 0,07$	$4,1 \pm 0,8$	0,91
		$\pi^+$	$0,86 \pm 0,05$	$0,54 \pm 0,16$	$3,4 \pm 0,7$	1,18

Таблица 3

Значения параметров  $a$ ,  $\lambda$  и  $\gamma$  /Фм/ для области излучения пионов, образованных в "центральных" / $n_{st} = 0$ / СС- и СТа-столкновениях /в с.ц.и. "NN"/

Тип взаим.	Тип част.	a	$\lambda$	$\gamma$ /Фм/	$\chi^2$ /ст.св.
СС	$\pi^-$	$0,93 \pm 0,05$	$0,21 \pm 0,06$	$2,1 \pm 0,4$	1,37
	$\pi^+$	$0,88 \pm 0,06$	$0,18 \pm 0,05$	$2,0 \pm 0,6$	0,97
СТа	$\pi^-$	$0,94 \pm 0,03$	$0,19 \pm 0,05$	$2,3 \pm 0,5$	1,24
	$\pi^+$	$0,91 \pm 0,05$	$0,19 \pm 0,06$	$2,2 \pm 0,6$	1,08

#### §4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, метод интерференции тождественных частиц позволяет определить размеры области излучения вторичных пионов в различных ядро-ядерных взаимодействиях. При этом основной вклад в получаемые результаты дают многонуклонные соударения. В исследованных нами процессах столкновения легких ядер D, He и C с ядрами Ta размер области излучения пионов в л.с.к. растет с увеличением атомного веса ядра-снаряда от  $/2,2+0,5/$  до  $/3,4+0,3/$  Фм и в первом приближении соответствует размерам налетающего ядра, оставаясь, однако, всегда меньше размера ядра-мишени  $/r_{Ta} \approx 6,1$  Фм/. Уменьшение параметра удара /многонуклонные взаимодействия/ приводит к увеличению размера области излучения вторичных пионов до  $/4,1+0,8/$  Фм для "центральных" C-Ta-соударений. Размер области излучения пионов в с.ц.и. "NN" меньше и приблизительно одинаков для всех рассматриваемых нами взаимодействий. Зависимость размеров области излучения пионов от системы отсчета, возможно, связана с тем, что источниками пионов являются резонансы, которые в лабораторной системе имеют большие скорости, чем в с.ц.и.. Однако недостаток статистики не позволяет провести более детальный анализ для проверки некоторых модельных или феноменологических предсказаний, касающихся рассматриваемых процессов /16/.

Авторы выражают глубокую благодарность участникам сотрудничества по обработке снимков с 2-метровой пропановой камеры за ряд полезных обсуждений, лаборантам - за помощь в обработке экспериментального материала и обслуживающему персоналу камеры - за получение высококачественных снимков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Копылов Г.И., Подгорецкий М.И. ЯФ, 1973, 18, с. 656; ЖЭТФ, 1975, 69, с. 414.
2. Fung S.V. et al. Phys.Rev.Lett., 1978, 41, p. 1952.
3. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1980, 31, с. 411.
4. Bistrich J.A. et al. Proc. of Seminar of High Energie Nuclear Interac., Hakone, Japan, 1980.
5. Beavis D. et al. Phys.Rev.C, 1983, 27, p. 910.
6. Gulassy M., Kauffmann S.K., Lance W.Wilson. Phys.Rev.C, 1979, 20, p. 2267.
7. Lednitsky R., Lyuboshits V.L., Podgoretsky M.I. JINR, E2-82-725, Dubna, 1982.
8. Подгорецкий М.И. ОИЯИ, P1-81-325, Дубна, 1981.
9. Ангелов Н. и др. Болг. физ.журнал, 1982, 9, с. 119.
10. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1981, 33, с. 1046.
11. Агакишиев Г. и др. ЯФ, 1981, 34, с. 1517.

12. Kopylov G.I. Phys.Lett., 1974, B50, p. 472.
13. Ледницки Р., Подгорецкий М.И. ОИЯИ, P2-12205, Дубна, 1979.
14. Aghababian N. et al. Z.für Physik, 1983, 16, p. 386.
15. Ахабабян Н. и др. ОИЯИ, P1-82-536, Дубна, 1982.
16. Nagamiya S. Phys.Rev.Lett., 1982, 49, p. 1383.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 апреля 1983 года.

### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D3-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
D13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
D1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
D1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Агакишиев Г.Н. и др. P1-83-252  
Размеры области излучения вторичных пионов, образованных в многонуклонных столкновениях ядер D, He и C с ядрами C и Ta при 4,2 ГэВ/с·нуклон

Методом изучения интерференции тождественных частиц определены размеры области излучения вторичных пионов, образованных в столкновениях легких ядер D, He и C с ядрами C и Ta при 4,2 ГэВ/с·нуклон. В лабораторной системе координат среднекватратичные радиусы области излучения пионов растут как с увеличением атомного веса ядра-снаряда, так и с увеличением "центральности" столкновений. В с.ц.и. NN-взаимодействий радиус области излучения меньше, чем в л.с.к.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Agakishiev G.N. et al. P1-83-252  
Dimensions of the Secondary Pion Emission Region in Multinucleon Collisions of D, He and C with C and Ta Nuclei at 4.2 GeV/c per Nucleon

Dimensions of the secondary pion emission region are measured by means of the second-order-interferometry method in collisions of light nuclei D, He and C with C and Ta at 4.2 GeV/c per nucleon. In the laboratory frame the root-mean-square of the radius of the pion emission region increases with the atomic mass of the projectile nucleus as well as with deepening the "centrality" of the collision. Viewed in the nucleon-nucleon c.m.s., the radius of the emission region is smaller than that in the laboratory frame.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.