

4898/2-79



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

3/12-79

A-646

P1 - 12504

Н.Ангелов, Н.Ахабабян, Ц.Баатар, Е.Бартке,  
А.П.Гаспарян, Н.С.Григалашвили, В.Г.Гришин,  
С.В.Джмухадзе, И.А.Ивановская, Л.Йеник,  
Т.Канарек, Е.Н.Кладницкая, Д.К.Копылова,  
В.Б.Любимов, В.Ф.Никитина, В.М.Попова,  
С.И.Лютов, А.Н.Соломин, М.И.Соловьев,  
М.К.Сулейманов, Г.П.Тонеева, Д.Тувдендорж,  
А.П.Чеплаков, А.И.Шкловская, Л.М.Щеглова

НАБЛЮДЕНИЕ ЭФФЕКТА ИНТЕРФЕРЕНЦИИ  
ТОЖДЕСТВЕННЫХ ПИОНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
РАЗМЕРОВ ОБЛАСТИ ИХ ГЕНЕРАЦИИ  
В  $^{12}\text{C}$   $^{181}\text{Ta}$  -СТОЛКНОВЕНИЯХ  
ПРИ 4,2 ГэВ/с.нукл.

1979

Н. Ангелов, Н. Ахабабян, Ц. Баатар, Е. Бартке,  
А. П. Гаспарян, Н. С. Григалашвили,<sup>1</sup> В. Г. Гришин,  
С. В. Джмухадзе,<sup>1</sup> И. А. Ивановская, Л. Йеник,  
Т. Канарек, Е. Н. Кладнишкая, Д. К. Копылова,  
В. Б. Любимов, В. Ф. Никитина, В. М. Попова,<sup>2</sup>  
С. И. Лютов,<sup>2</sup> А. Н. Соломин,<sup>2</sup> М. И. Соловьев,  
М. К. Сулейманов,<sup>3</sup> Г. П. Тонеева,<sup>2</sup> Д. Тувдендорж,  
А. П. Чеплаков, А. И. Шкловская, Л. М. Щеглова<sup>2</sup>

НАБЛЮДЕНИЕ ЭФФЕКТА ИНТЕРФЕРЕНЦИИ  
ТОЖДЕСТВЕННЫХ ПИОНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
РАЗМЕРОВ ОБЛАСТИ ИХ ГЕНЕРАЦИИ  
В  $^{12}\text{C}$   $^{181}\text{Ta}$  -СТОЛКНОВЕНИЯХ  
ПРИ 4,2 ГэВ/с. нукл.

*Направлено в ЯФ*

---

<sup>1</sup> Тбилисский государственный университет.

<sup>2</sup> НИИЯФ МГУ, Москва.

<sup>3</sup> Институт физики АН АзССР, Баку.

Ангелов Н. и др.

P1 - 12504

Наблюдение эффекта интерференции тождественных пионов и определение размеров области их генерации в  $^{12}\text{C} - ^{181}\text{Ta}$  -столкновениях при 4,2 ГэВ/с·нукл.

Исследовался эффект интерференции вторичных отрицательных пионов, образованных при столкновениях ядер углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с·нукл. с ядрами тантала. Определен радиус области генерации этих частиц:  $r = (3.3 \pm 0.6) \text{ фм}$ .

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

P1 - 12504

Angelov N. et al.

Observation of Interference Effect of Identical Pions and Determination of their Production Region Dimension in  $^{12}\text{C} - ^{181}\text{Ta}$  actions at 4,2 GeV/c.nucl.

The Interference effect of secondary negative pions produced at the collision of 4.2 GeV/c.nucl. carbon nuclei with tantalum nuclei is investigated. The radius of these particle production region has been determined:  $r = (3.3 \pm 0.6) \text{ f}$ .

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование взаимодействий релятивистских ядер раскрывает широкие возможности, с одной стороны, для изучения поведения ядерной материи при экстремальных условиях, а с другой - для построения адекватной картины многоуклонных столкновений. Одной из существенных характеристик таких взаимодействий является пространственно-временная картина протекания процесса излучения вторичных частиц. В этом направлении существенные результаты были получены на основе изучения эффекта интерференции тождественных вторичных бозе-частиц, образованных при столкновении быстрых адронов. Предложенный и детально разработанный Копыловым и Подгорецким метод <sup>1/</sup>, основанный на самых общих квантовомеханических принципах и естественных предположениях, позволил определить размер области генерации частиц ( $r$ ) и "время жизни" возбужденной системы ( $\tau$ ). С эффектом интерференции связан и обнаруженный раньше экспериментальный факт избытка пар тождественных пионов с относительно малыми углами разлета <sup>2,3/</sup>. Большой экспериментальный материал по адрон-адронным взаимодействиям в широком энергетическом интервале, проанализированный под таким углом зрения, дал богатые результаты и подтвердил плодотворность используемого метода. В обзоре <sup>4/</sup> представлена и критически рассмотрена основная часть существующих результатов. Оказалось, что для адрон-адронных взаимодействий радиус области излучения вторичных пионов  $r \sim 1,5 \text{ фм}$ , время жизни возбужденного состояния  $\tau \sim 10^{-23} \text{ с}$ .

В работе <sup>5/</sup> этот метод был использован для определения радиуса и времени жизни области генерации пионов при взаимодействии  $\pi^-$ -мезонов с импульсом  $40 \text{ ГэВ/с}$  с ядрами углерода. Полученный в адрон-ядерных взаимодействиях результат составляет  $r = /4,5 \pm 1,0/ \text{ фм}$  и  $\tau \sim (5 \pm 2) \cdot 10^{-23} \text{ с}$ . Для аналогичных взаимодействий, но при импульсе  $3,7 \text{ ГэВ/с}$ , в работе <sup>6/</sup> были получены значения  $r = (2,6 \pm 0,5) \text{ фм}$  и  $\tau = /0,8 \pm 0,5/ \cdot 10^{-23} \text{ с}$ . В работе <sup>7/</sup> эффект интерференции тождественных вторичных пионов был использован для определения размера области генерации в ядро-

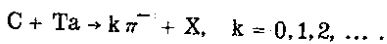
ядерных взаимодействиях. Изучая взаимодействия ядер  $^{40}\text{Ar}$  с энергией 1,8 ГэВ/нукл. со сложными мишенями  $\text{BaI}_2$  и  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ , помещенными в стримерную камеру БЕВАЛАКА, авторы получили для  $\gamma$  значение  $-(4 \pm 1)\text{Фм}$ .

В настоящей работе представлены результаты определения радиуса области генерации вторичных отрицательных пионов при взаимодействии ядер углерода  $^{12}\text{C}$  с импульсом 4,2 ГэВ/с. нукл с ядрами тантала  $^{181}\text{Ta}$ .

## 2. МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Двухметровая пропановая пузырьковая камера ЛВЭ ОИЯИ с тремя танталовыми пластинками размером  $140 \times 80 \times 0,8$  мм<sup>3</sup> облучалась ядрами углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с. нукл. После визуального отбора и идентификации звезд все релятивистские треки из этих событий измерялись на полуавтоматических столах САМЕТ, что позволило получить импульсные и угловые характеристики вторичных частиц. Некоторые общие закономерности, относящиеся к множественности вторичных отрицательных пионов, представлены в работах /8,9/. Детальные данные по методическим проблемам, связанным с изучением этих взаимодействий, приведены в /10,11/.

В настоящей работе использованы импульсные и угловые характеристики вторичных отрицательных пионов, образованных во взаимодействиях типа



/1/

Распределение по множественности и импульсный спектр отрицательных пионов представлены на рис. 1 и 2. Средняя множественность этих частиц  $\langle n_{\pi^-} \rangle = 3,1 \pm 0,1$ , а средний импульс  $\langle p_{\pi^-} \rangle = 479 \pm 17$  МэВ/с. Средняя относительная ошибка  $\langle \Delta p/p \rangle$  в измерении импульсов  $\sim 11\%$ ; средние ошибки в измерении углов  $\langle \Delta \text{tg} \alpha \rangle = 0,0103 \pm 0,0002$  и  $\langle \Delta \beta \rangle = 0,0063 \pm 0,0002$  рад; распределение по азимутальному углу изотропно:  $\langle \phi \rangle = 3,10 \pm 0,04$ .

## 3. ПРИНЦИП ВЫДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТА ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

Эффект интерференции связан с проявлением бозе-статистики генерированных вторичных пионов. Если  $E_1, \vec{p}_1$  и  $E_2, \vec{p}_2$  - энергии и импульсы двух таких частиц, испущенных с поверхности возбужденной сферической области с радиусом  $r$  и временем жизни  $\tau$ , то, как было показано Копыловым /12/, вводя пере-

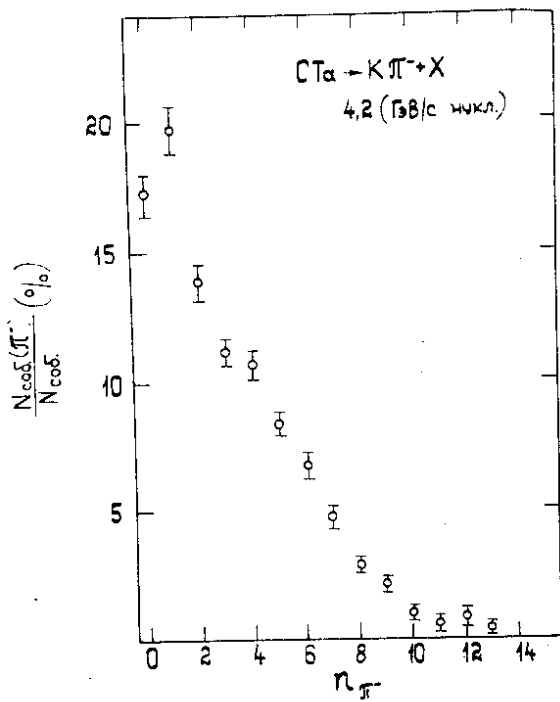


Рис. 1. Распределение по множественности вторичных отрицательных частиц, образованных в С-Та-столкновениях при 4,2 ГэВ/с·нукл.

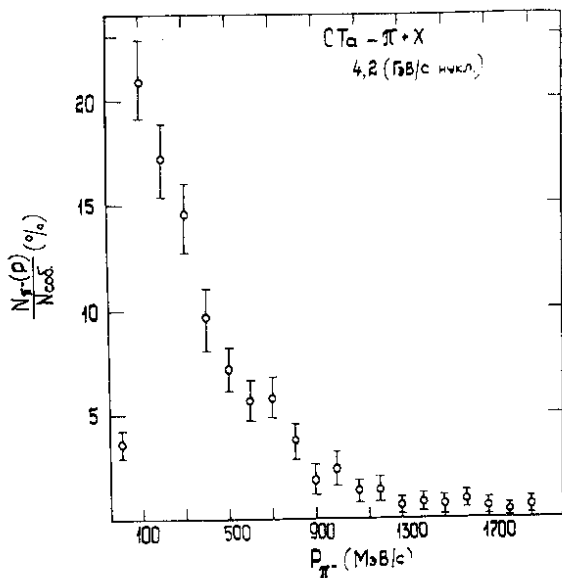


Рис. 2. Импульсный спектр вторичных отрицательных пионов, образованных в С-Та-столкновениях при 4,2 ГэВ/с·нукл.

$$q_0 = |E_1 - E_2| \quad \text{и} \quad \vec{q}_\perp = \vec{q} - \vec{n}(\vec{q} \cdot \vec{n}),$$

где

$$\vec{q} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2 \quad \text{и} \quad \vec{n} = \frac{\vec{p}_1 + \vec{p}_2}{|\vec{p}_1 + \vec{p}_2|},$$

вероятность обнаружения такой пары можно представить в виде:

$$W(q_0, q_\perp^2) = \left[ 1 + \frac{(2J_1(q_\perp r)/q_\perp r)^2}{1 + (q_0 \tau)^2} \right] W_0(q_0, q_\perp^2). \quad /3/$$

Здесь  $J_1(q_\perp r)$  - функция Бесселя первого порядка,  $W_0(q_0, q_\perp^2)$  - "фоновое" распределение, т.е. распределение в отсутствие интерференции. Как видно из /3/, вероятность обнаружить пары тождественных бозе-частиц больше, чем пары нетождественных частиц. Эффект тем больше, чем меньше разница в энергии двух рассматриваемых частиц и чем меньше угол между направлениями их вылета.

Успех выделения эффекта интерференции связан с правильностью определения "фоновое" распределения  $W_0$ . Обычно в качестве фона используют распределения пар разноименно заряженных частиц из одних и тех же событий ( $\pi^+, \pi^-$ ), если в них не проявляются резонансы, или пар одноименно заряженных частиц ( $\pi^\pm, \pi^\pm$ ) из разных событий с учетом ограничения фазового объема. Кроме того, надежность обнаружения эффекта интерференции и определения параметров  $r$  и  $\tau$  области генерации связана с точностью измерения импульсов и углов близких по характеристикам пар частиц, которые дают существенный вклад в исследуемое явление.

#### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 3 представлена зависимость

$$R(q_\perp^2) = \left[ \frac{(dN/dq_\perp^2)^{\text{эфф}}}{(dN/dq_\perp^2)^{\text{фон}}} \right], \quad /4/$$

где  $(dN/dq_\perp^2)^{\text{эфф}}$  - дифференциальное распределение по  $q_\perp^2$  отрицательно заряженных пар пионов, образованных в одних и тех же событиях, а  $(dN/dq_\perp^2)^{\text{фон}}$  - такое же распределение для двухчастичных комбинаций отрицательных пионов из разных событий, использованное нами как "фоновое распределение". Распределение  $R(q_\perp^2)$  получено при ограничении на разницу в энергиях рассматриваемых пар частиц  $q_0 < 300$  МэВ. На

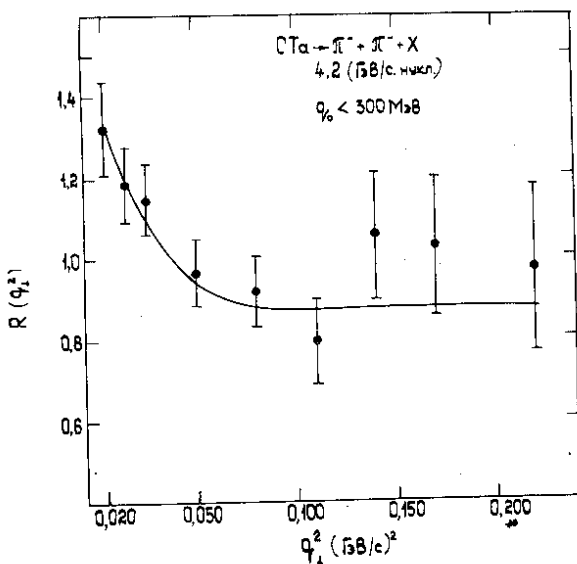


Рис. 3. Распределение  $R(q_1^2)$  для пар  $(\pi^+ \pi^-)$ -мезонов с  $q_0 < 300 \text{ МэВ}$ . Сплошная кривая - фитирование с помощью функции  $1/s$ .

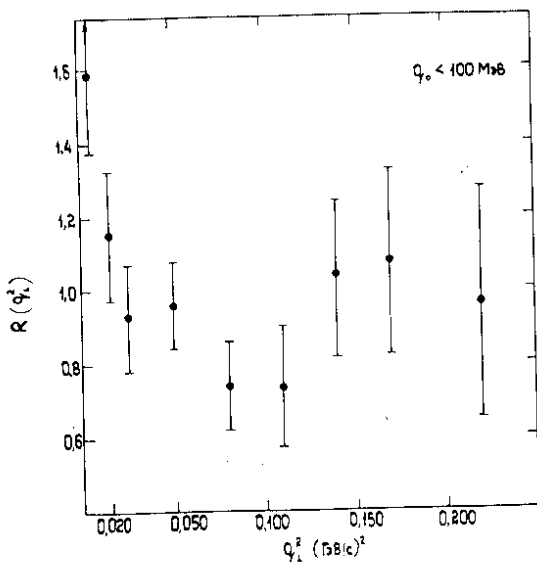


Рис. 4. Распределение  $R(q_1^2)$  для пар вторичных мезонов с  $q_0 < 100 \text{ МэВ}$ .



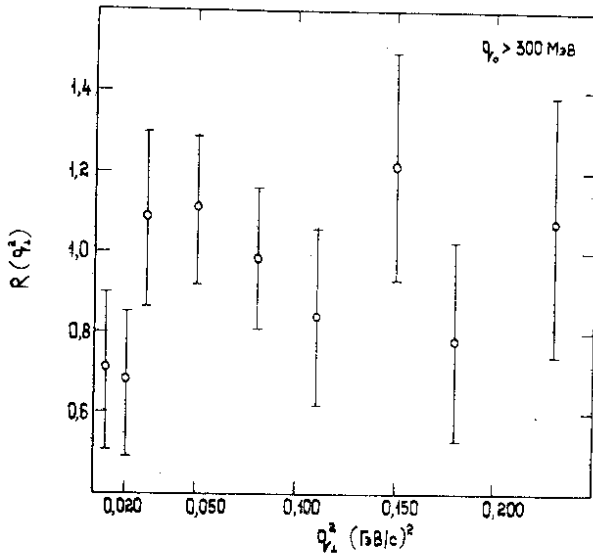


Рис. 5. Распределение  $R(q_{\perp}^2)$  для пар отрицательных мезонов с  $q_0 > 300 \text{ МэВ}$ .

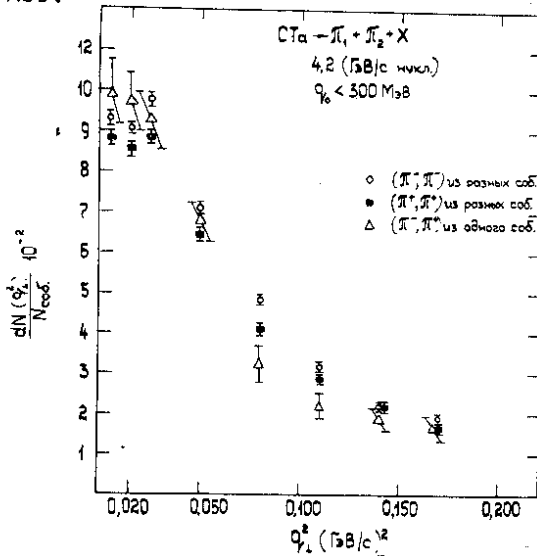


Рис. 6. "Фоновые" распределения  $\frac{dN(q_{\perp}^2)}{N_{\text{сoб}}}$  для  $(\pi^{\mp}, \pi^{\mp})$ -пар мезонов из разных событий ( $\circ, \blacksquare$ ), и пар  $(\pi^+, \pi^-)$ -мезонов из одних и тех же событий ( $\triangle$ ).

рис. 4 и 5 показаны аналогичные распределения при  $q_0 < 100$  МэВ и  $q_0 > 300$  МэВ. Видно проявление эффекта интерференции при малых  $q_{\perp}$ , его увеличение при уменьшении  $q_0$  и исчезновение при больших  $q_0$ .

Проблема использования "наилучшего" фона всегда существует при исследованиях такого рода. Однако в случае ядро-ядерных взаимодействий при энергии несколько ГэВ/нуклон, когда образование новых частиц идет в основном за счет независимых однонуклонных взаимодействий составных нуклонов ядер, получение фонового распределения  $W_0(q_0, q_{\perp})$  намного облегчается. Для сравнения на рис. 6 показаны распределения  $(dN/dq_{\perp}^2)^{\text{фон}}$  для  $(\pi^-, \pi^-)$  и  $(\pi^+, \pi^+)$ -пар пионов из разных событий, а также распределения  $(\pi^+, \pi^-)$ -пар из одних и тех же событий. Видно, что эти распределения мало отличаются друг от друга. В связи с тем, что  $\pi^-$ -мезоны наиболее надежно идентифицируются в пропановой камере, во всех представленных далее результатах в качестве фонового распределения использовано распределение  $(dN/dq_{\perp}^2)^{\text{фон}}$  для  $(\pi^-, \pi^-)$ -пар из разных событий.

Распределения по эффективным массам двух пионов  $dN/dM_{\pi\pi}$  тоже чувствительны к проявлению эффекта интерференции, так как  $M_{\pi\pi}^2 = q_{\perp}^2 - q_0^2 + 4m_{\pi}^2$ . На рис. 7 показаны распределения по эффективным массам пар  $(\pi^-, \pi^-)$  из одних и тех же событий, нормированные на распределения пар  $(\pi^-, \pi^-)$  из разных событий и пар  $(\pi^+, \pi^-)$  из одних и тех же событий. Видно, что в этих распределениях при малых значениях эффективных масс количество пар тождественных частиц превышает количество пар нетождественных пионов.

Радиус  $r$  и время жизни  $\tau$  области генерации отрицательных частиц можно определить фитированием экспериментальных распределений  $dN(q_0, q_{\perp}^2)/d(q_0, q_{\perp}^2)$  функциями вида /3/. Однако имеющийся пока статистический материал не позволяет фитировать полученные распределения двумерными функциями и, таким образом, одновременно определить интересующие нас два параметра  $r$  и  $\tau$ . Поэтому радиус области взаимодействия был получен фитированием одномерных распределений  $R(\pi^-, \pi^-)$  функцией вида

$$G(q_{\perp}^2) = a[1 + 4bJ_1^2(q_{\perp}r)/(q_{\perp}r)^2], \quad /5/$$

которая следует из /3/ при предположении  $\tau = \text{const}$ . Для пар отрицательных пионов с  $q_0 < 300$  МэВ /рис. 3/ получается:  $r = (3,26 \pm 0,64)$  фм при  $\chi^2 = 16,4/15$ .

Как было отмечено, выделение эффекта интерференции и определение параметров области генерации зависит от точ-

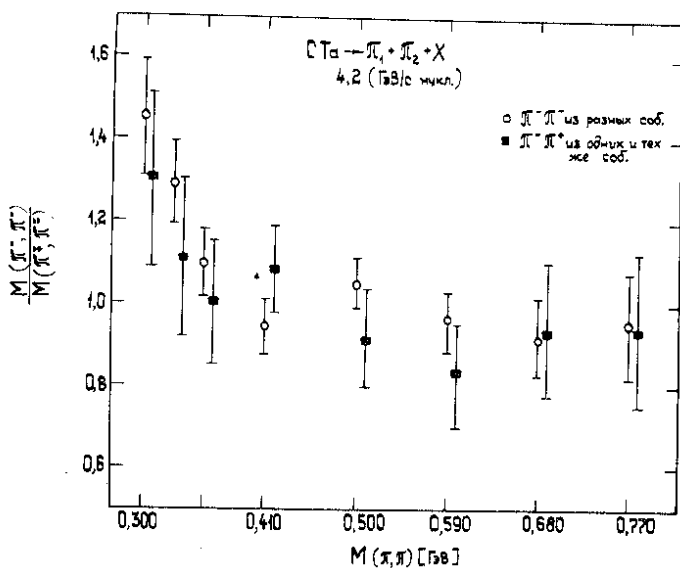


Рис. 7. Распределение по эффективным массам  $M(\pi^-, \pi^-)/M(\pi^+, \pi^+)$ . В качестве фона взяты распределения по эффективным массам для пар одноименно заряженных частиц из разных событий (○) и пар  $(\pi^-, \pi^+)$  из одних и тех же событий (■).

ности измерения характеристик частиц и разрешающей способности используемой методики. Представленные выше средние значения точности измерения импульсов и углов вылета вторичных частиц позволяют вычислить распределения и средние значения ошибок измерения  $q_{\perp}^2$  и  $q_0$ , используемых для выделения интерференции. Полученные значения  $\langle \Delta q_{\perp}^2 \rangle$  и  $\langle \Delta q_0 \rangle$  для различных интервалов  $q_{\perp}^2$  и  $q_0$  представлены в таблице. Видно, что используемые для распределения по  $q_{\perp}^2$  ширины интервалов вполне обеспечивают достоверность наблюдаемого эффекта интерференции и значения радиуса области генерации  $g$ . Однако средние значения ошибки в  $\langle \Delta q_0 \rangle$  слишком велики, особенно в первых интервалах, где они порядка самих интервалов по  $q_0$ . Этим объясняется невозможность на основе имеющегося экспериментального материала определить время жизни области генерации вторичных отрицательных частиц.

Таблица  
Распределение ошибок по  $q_{\perp}^2$  и  $q_0$

$q_{\perp}^2$ /ГэВ/с/²	$\Delta q^2$ /ГэВ/с/²	$q_0$ /ГэВ/	$\Delta q_0$ /ГэВ/
0,000-0,010	0,0014	0,000-0,020	0,0173
0,010-0,020	0,0033	0,020-0,040	0,0187
0,020-0,030	0,0063	0,040-0,060	0,0211
0,030-0,050	0,0093	0,080-0,120	0,0232
0,050-0,100	0,0143	0,120-0,160	0,0248
0,100-0,200	0,0207	0,160-0,200	0,0263

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оказывается, что метод, предложенный и разработанный Копыловым и Подгорецким для исследования пространственно-временных характеристик области генерации вторичных тождественных бозе-частиц в адрон-адронных взаимодействиях, может быть использован и для ядро-ядерных столкновений. Полученное нами значение для радиуса области генерации вторичных отрицательных пионов в С-Та-столкновениях при импульсе 4,2 ГэВ/с. нукл  $r = (3,3 \pm 0,6)$  фм находится в согласии с другим /пока единственным/ результатом для ядро-ядерных взаимодействий, полученных для столкновений  $^{40}\text{Ar}$  с  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  при энергии 1,8 ГэВ/нукл. /8/.

Авторам приятно поблагодарить М.И.Подгорецкого за плодотворные обсуждения и лаборантов группы за помощь при просмотре и измерении исследуемых событий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Копылов Г.И., Подгорецкий М.И. ЯФ, 1973, 18, с.656; ЖЭТФ, 1975, 69, с.414.
2. Goldhaber G. et al. Phys.Rev., 1960, 120, p.300.
3. Cocconi G. Phys.Lett., 1974, B49, p.459.
4. Гришин В.Г. УФН, 1979, 127, с.51.
5. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1978, т.27, с.675.
6. Бажков Ю.Д. и др. Препринт ИТЭФ-70, М., 1976.
7. Fung S.V. et al. Phys.Rev.Lett., 1978, 41, p.1592
8. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1978, 27, с.1020.

9. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, Р1-12281, Дубна, 1979.
10. Ахабабян Н. и др. ОИЯИ, 1-12114, Дубна, 1979.
11. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, 1-12424, Дубна, 1979.
12. Kopylov G.I. Phys.Lett., 1974, 50B, p.472.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 мая 1979 года.