

Объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

P1-84-629

ПОВЕДЕНИЕ  
ИНВАРИАНТНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ  
РОЖДЕНИЯ  $\pi^-$ -МЕЗОНОВ  
В ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГэВ/с на нуклон

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1984

Д.Армутлийски, А.П.Гаспарян, В.Г.Гришин, И.А.Ивановская,  
Т.Канарек, Е.Н.Кладницкая, М.И.Соловьев, А.П.Чеплаков  
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Г.Г.Агакишиев, Р.Р.Мехтиев  
Институт физики АН АзССР, Баку

В.М.Попова, Г.П.Тонеева  
НИИЯФ Московского государственного университета

Е.Балеа, В.Болдеа, С.Хакман  
Центральный институт физики, Бухарест

Н.Ангелов  
Институт ядерных исследований и ядерной энергетики, София

Ц.Баатар, Р.Тогоо, Д.Тувдендорж  
Институт физики и техники МАН, Улан-Батор

Изучение процесса множественного рождения частиц в ядерных столкновениях при релятивистских энергиях и больших передачах импульса имеет большое значение для понимания механизма сильных взаимодействий и структуры атомного ядра. В ядерных столкновениях, в отличие от нуклон-нуклонных, вторичные частицы могут образоваться в области, кинематически запрещенной для нуклон-нуклонных взаимодействий /кумулятивные частицы/.

В настоящее время в литературе широко обсуждаются экспериментальные и теоретические исследования кварк-партонной структуры атомных ядер при высоких энергиях<sup>/1-5/</sup>. Экспериментальные исследования последних лет в области релятивистской ядерной физики и результаты изучения структуры ядер с помощью глубоконеупругих взаимодействий лептонов с ядрами при высоких энергиях, указывают, по-видимому, на существенное отличие кварк-партонной структуры ядра от кварк-партонной структуры нуклонов в свободном состоянии<sup>/2-4/</sup>.

В данной работе исследуются инвариантные дифференциальные сечения рождения  $\pi^-$ -мезонов в столкновениях ядер дейтерия и углерода с ядрами углерода и тантала при первичном импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон в зависимости от величины минимальной массы мишени  $p_k$  /или порядка кумулятивности/. Приводится также зависимость от  $p_k$  отношения этих сечений, нормированных на один нуклон, для ядер-мишеней тантала и углерода. Результаты сравниваются с предсказаниями кварк-партонной модели ядра<sup>/2/</sup>.

## 1. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальный материал был получен с помощью 2-метровой пропановой камеры, в рабочем объеме которой размещались 3 танталовые пластины толщиной 1 мм на расстоянии 93 мм друг от друга.

Камера находилась в магнитном поле напряженностью 1,5 Т и была облучена на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ легкими ядрами - d и  $^{12}\text{C}$  с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон.

Методические особенности эксперимента и детальные данные относительно поправок на потерю вторичных  $\pi^-$ -мезонов приведены в<sup>/6,7/</sup>. Взаимодействия первичных ядер с ядрами углерода были отобраны из всех событий в пропане по критериям, описанным в<sup>/8/</sup>, с добавлением еще одного критерия - наличия протона с кумулятивным числом  $p_k > 1$ . Отобранные таким образом события составляют 85-90% от всех взаимодействий с ядрами углерода. Статистика, используемая в данной работе, приведена в табл.1.

Таблица 1

Тип взаимодействия	dTa	CTa	dC	CC	CC центр
Число событий	I354	II77	I855	I5I2	I394
Число $\pi^-$ -мезонов	I057	3453	I223	2255	3834

Центральными CC-взаимодействиями / CC /центр./ считались события, удовлетворяющие следующим критериям:

- отсутствие фрагмента налетающего ядра углерода с зарядом  $Z \geq 2$ ;
- число однозарядных стриппинговых фрагментов ядра-снаряда не более 2;
- суммарный заряд вторичных частиц больше 7.

## 2. ИНВАРИАНТНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ РОЖДЕНИЯ $\pi^-$ -МЕЗОНОВ

Нами были исследованы инклюзивные сечения образования вторичных  $\pi^-$ -мезонов в следующих реакциях:



В настоящее время известно, что изучение поведения инвариантных дифференциальных сечений рождения вторичных частиц в ядерных столкновениях при больших передачах импульса дает информацию о кварк-партонной структуре ядер<sup>/1-4/</sup>.

Инвариантное дифференциальное сечение в области предельной фрагментации ядра-мишени может быть записано в следующем виде<sup>/2/</sup>:

$$E \frac{d\sigma}{d\vec{p}} = c G(n_k, p_{\perp}^2), \quad /3/$$

где  $E$  и  $\vec{p}$  - энергия и импульс, а  $n_k$  и  $p_{\perp}$  - кумулятивное число и поперечный импульс рассматриваемой частицы. Функция  $G(n_k, p_{\perp}^2)$

представляет собой кварк-партонную структурную функцию ядра-мишени. Релятивистски-инвариантная переменная  $n_k$  определяется как отношение двух скалярных произведений, составленных из четырехмерных импульсов налетающего объекта ( $P_i$ ), мишени ( $P_t$ ) и вторичной частицы ( $P_c$ ), т.е.

$$n_k = \frac{(P_i \cdot P_c)}{(P_i \cdot P_t)} = \frac{E_c - \beta_1 p_c \cos \theta}{m_p} \approx \frac{E_c - p_{\parallel}^c}{m_p}, \quad /4/$$

где  $\beta_1 = p_i / E_i$  - скорость налетающей частицы, которая при релятивистской энергии близка к 1 /в частности, в нашем случае  $\beta_1 = 4,2/4,3 = 0,97$  /,  $p_{\parallel}^c$  - продольный импульс вторичной частицы,  $m_p$  - масса протона. При высоких энергиях переменная  $n_k$  практически совпадает с масштабной переменной  $x^{/2/}$ :

$$x = A_t \frac{(P_i \cdot P_c) - \frac{m_c^2}{2}}{(P_i \cdot P_t) - m_i m_t - (P_t P_c)}. \quad /5/$$

В том случае, когда в качестве независимых переменных используются переменные  $n_k$  и  $p_{\perp}^2$ , инвариантное дифференциальное сечение записывается в следующем виде:

$$E \frac{d\sigma}{d\vec{p}} = E \frac{d\sigma}{dp_{\parallel} dp_{\perp}^2} = n_k \frac{d\sigma}{dn_k dp_{\perp}^2} = \frac{d\sigma}{d(\ln n_k) dp_{\perp}^2}. \quad /6/$$

На рис.1 и 2 представлены инвариантные дифференциальные сечения рождения  $\pi^-$ -мезонов в реакциях /1/ и /2/, проинтегрированные по  $p_{\perp}^2$ , т.е.

$$f(n_k) = \int \frac{d}{dp_{\perp}^2} (n_k \frac{d\sigma}{dn_k}) dp_{\perp}^2. \quad /7/$$

Видно, что в области  $n_k > 0,2$  зависимость сечений от переменной  $n_k$  имеет экспоненциальный характер. Результаты аппроксимации экспериментальных данных в этой области зависимостью вида

$$f(n_k) = a e^{-bn_k} \quad /8/$$

приведены в табл.2. Из таблицы видно, что в пределах экспериментальных ошибок параметры наклона экспоненциальной зависимости одинаковы как для тяжелого ядра тантала, так и для легкого ядра углерода.

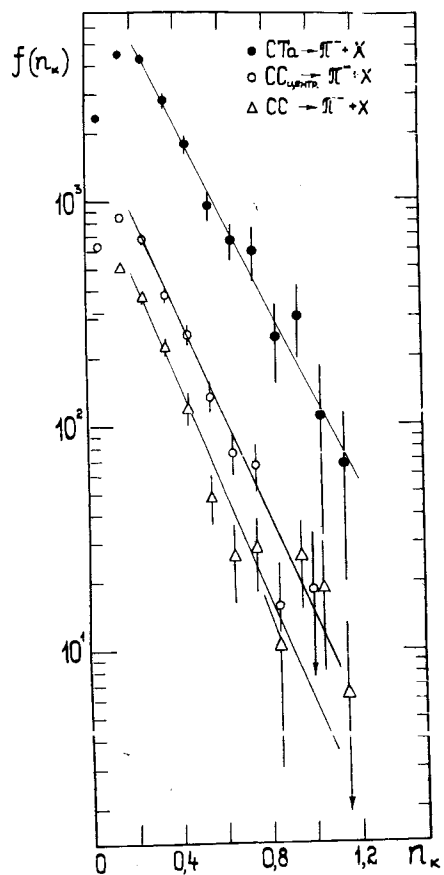


Рис. 1

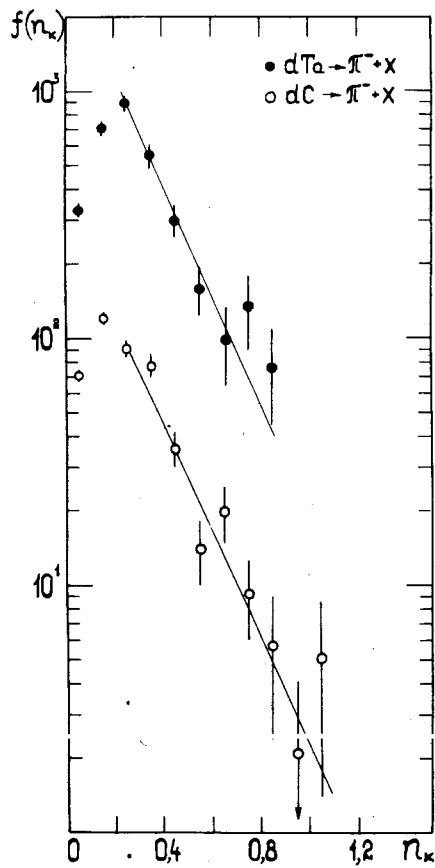


Рис. 2

Таблица 2

Тип взаимодействия	СТа	СС	СС-центр	dTa	dC
$\nu$	4,5 $\pm$ 0,2	5,6 $\pm$ 0,5	5,4 $\pm$ 0,3	5,2 $\pm$ 0,4	4,9 $\pm$ 0,4
$\chi^2/n$	0,35	0,51	0,37	0,50	0,86

### 3. ОТНОШЕНИЕ ИНВАРИАНТНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ РОЖДЕНИЯ $\pi^-$ -МЕЗОНОВ НА РАЗНЫХ ЯДРАХ

Предсказанный в 1971 году А.М.Балдиным<sup>/9/</sup> и экспериментально подтвержденный в Дубне группой В.С.Ставинского<sup>/10/</sup> кумулятивный эффект имеет большое значение для понимания кварк-партоновой структуры атомного ядра. На основе анализа данных по адрон-ядерным столкновениям с большими передачами импульса<sup>/1,2/</sup> был сделан вывод о том, что кварк-партоновая структура ядра отличается от кварк-партоновой структуры нуклонов в свободном состоянии<sup>/2/</sup>. В последнее время эксперименты по глубоконеупругим взаимодействиям<sup>/3-5/</sup> подтверждают этот вывод. Представляется интересным исследовать это явление также в ядро-ядерных столкновениях при высоких энергиях.

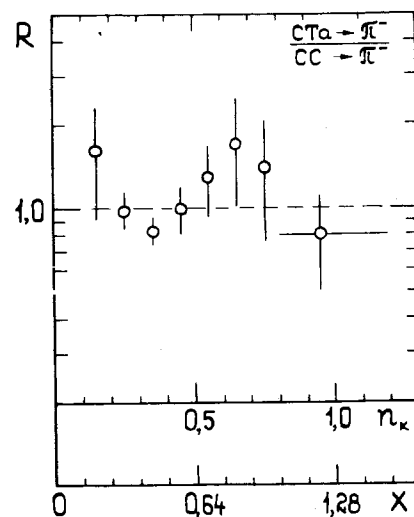


Рис. 3

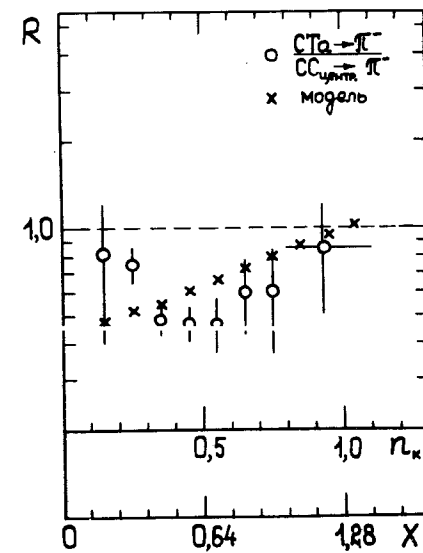


Рис. 4

На рис.3-5 представлены отношения нормированных на нуклон инвариантных дифференциальных сечений рождения  $\pi^-$ -мезонов на ядре тантала к соответствующим сечениям на ядре углерода, т.е.

$$R = \frac{f_{Ta}^{\circ}(n_k)}{f_C^{\circ}(n_k)} = \frac{\frac{1}{A_{Ta}} f_{Ta}(n_k)}{\frac{1}{A_C} f_C(n_k)} \quad /9/$$

Нас интересует область предельной фрагментации ядра-мишени, так как согласно модели<sup>/2/</sup> только в этой области импульсные распределения вторичных частиц отражают структурную функцию ядра. В<sup>/11/</sup> было показано, что в области  $n_k > 0,3$ , соответствующей,

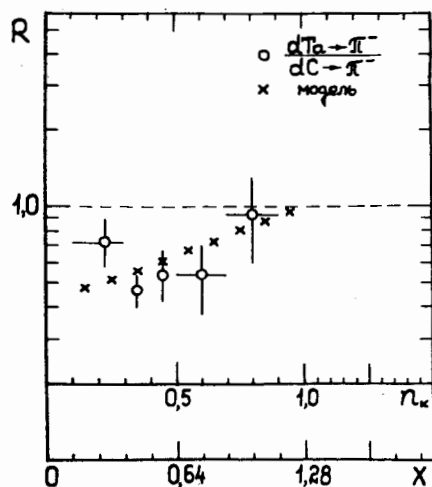


Рис.5

что в ядро-ядерных столкновениях не все нуклоны ядра-снаряда эффективно участвуют во взаимодействии, т.е. среди вторичных частиц наблюдаются стриппинговые фрагменты ядра-снаряда. Зная число стриппинговых частиц, можно определить число провзаимодействовавших нуклонов. Среднее число взаимодействующих нуклонов ядра-снаряда в случае СТa-взаимодействий равно  $6,6 \pm 0,3^{1/12}$ . Для СС-взаимодействий это число почти в два раза меньше -  $3,8^{1/13}$ . Если отобрать только центральные СС-взаимодействия, то для них среднее число взаимодействующих нуклонов ядра-снаряда приблизительно равно 7, т.е. практически совпадает со средним числом взаимодействующих нуклонов в случае СТa-столкновений. Для dTa- и dC-столкновений числа взаимодействующих нуклонов также близки между собой:  $1,60 \pm 0,04^{1/12}$  и  $1,3 \pm 0,1^{1/13}$  соответственно. Чтобы получить правильную нормировку данных по абсолютной величине, для сравнительного анализа ядро-ядерных соударений следует брать взаимодействия с разными мишенями, но с одинаковым числом взаимодействующих нуклонов ядра-снаряда.

Из рис.4 и 5 видно, что в интервале изменения переменной  $n_k - 0,3 \pm 0,7$  величина R для обоих типов налетающих ядер заметно отличается от 1. На этих рисунках приведены также предсказания кварк-партонной модели ядра<sup>1/2/</sup>, вычисленные по формуле

$$\sigma_{inv} = \text{const} \cdot A_1^{1/3} \cdot A_2^{m(x)} \exp\left(-\frac{x}{\langle x \rangle}\right), \quad /10/$$

$$\text{где } m(x) = \frac{2}{3} + \frac{x}{3}.$$

В области значений переменной  $n_k - 0,3 \pm 1,0$  модельные предсказания неплохо согласуются с экспериментом.

в основном, фрагментации ядра-мишени, средние значения быстрот  $\pi^-$ -мезонов в лабораторной системе координат  $\langle u \rangle \leq 0$ . Поэтому, чтобы исключить пионы, связанные с фрагментацией налетающих ядер, в области  $n_k < 0,3$  были взяты только пионы с  $u < 0$  для всех типов взаимодействий.

Сравнение рис.3 и 4 показывает, что, хотя характер зависимости R( $n_k$ ) почти одинаков для обоих отношений, абсолютные значения R существенно отличаются. Эта разница обусловлена разным числом взаимодействующих нуклонов ядра-снаряда в СС-и СС/центр./-взаимодействиях. Известно,

Авторы выражают благодарность А.М.Балдину за полезные обсуждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. ОИЯИ, Е1-80-174, Дубна, 1980.
2. Балдин А.М. ОИЯИ, Е2-83-415, Дубна, 1983.
3. Aubert J.J. et al. Phys.Lett., 1983, 123В, No.3,4, p.275.
4. CERN Courier, 1983, 23, p.90.
5. Савин И.А. Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. ОИЯИ, Д1,2-81-728, Дубна, 1981, с.223.
6. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, Р1-81-176, Дубна, 1981; ЯФ, 1981, т.34, с.1517.
7. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, 1-12424, Дубна, 1979.
8. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, Р1-83-662, Дубна, 1983.
9. Балдин А.М. Краткие сообщения по физике, 1971, т.18, с.465.
10. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, Р1-5819, Дубна, 1971; Е1-8054, Дубна, 1974; ЯФ, 1975, т.21, с.1008.
11. Баатар Ц. и др. ОИЯИ, Р1-81-516, Дубна, 1981; ЯФ, 1982, т.36, с.431.
12. Баатар Ц. и др. ОИЯИ, Р1-80-209, Дубна, 1980.
13. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, Р1-84-35, Дубна, 1984, 1984; ЯФ, 1984, т.40, с.1209.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 сентября 1984 года.

В Объединенном институте ядерных исследований начал выходить сборник "Краткие сообщения ОИЯИ". В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "Сообщений ОИЯИ", статьи, вошедшие в сборник, имеют, как и другие издания ОИЯИ, статус официальных публикаций.

Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ" будет выходить регулярно.

The Joint Institute for Nuclear Research begins publishing a collection of papers entitled *JINR Rapid Communications* which is a section of the JINR Communications and is intended for the accelerated publication of important results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.  
Theoretical physics.  
Experimental techniques and methods.  
Accelerators.  
Cryogenics.  
Computing mathematics and methods.  
Solid state physics. Liquids.  
Theory of condensed matter.  
Applied researches.

Being a part of the JINR Communications, the articles of new collection like all other publications of the Joint Institute for Nuclear Research have the status of official publications.

*JINR Rapid Communications* will be issued regularly.



Армутлийски Д. и др.

P1-84-629

Поведение инвариантных дифференциальных сечений рождения  $\pi^-$ -мезонов в ядерных взаимодействиях при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон

Исследуется зависимость от кумулятивной переменной инвариантных дифференциальных сечений рождения  $\pi^-$ -мезонов в столкновениях ядер дейтерия и углерода с ядрами углерода и тантала при первичном импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Показано, что отношение этих сечений, нормированных на один нуклон, для разных ядер-мишеней описывается кварк-партоновой моделью ядра, предложенной А.М.Балдиным.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Armutliyski D. et al.

P1-84-629

Behaviour of  $\pi^-$ -Meson Production Invariant Differential Cross Sections in Nuclear Interactions at 4.2 GeV/c per Nucleon

The  $\pi^-$ -meson production invariant differential cross section dependence on the cumulative variable in collisions of deuterium and carbon with primary momentum of 4.2 GeV/c per nucleon with carbon and tantalum nuclei are investigated. It is shown that the ratio of these cross sections, normalized per one nucleon for various nuclear targets, is described by the quark-parton nuclear model, introduced by A.M.Baldin.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984