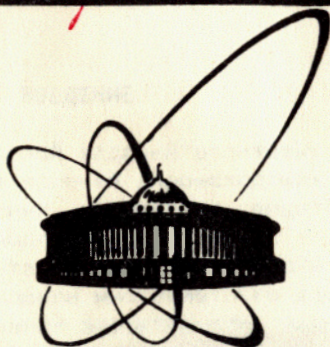


83-165

2.965/83



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P1-83-165

96-83

А.П.Гаспарян, А.П.Чеплаков, Ю.М.Шабельский

РОЖДЕНИЕ  $\pi$ -МЕЗОНОВ  
ПРИ СОУДАРЕНИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР  
В МОДЕЛИ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1983



## 1. ВВЕДЕНИЕ

Важной задачей релятивистской ядерной физики является поиск таких явлений /происходящих при соударении ядер при высокой энергии/, которые не сводятся к суперпозиции нуклон-ядерных взаимодействий. Полезную информацию может дать сравнение экспериментальных данных с расчетами, выполненными, например, в рамках модели многократного рассеяния. Систематическое отклонение различных характеристик какой-то группы событий от ожидаемых в этой модели явилось бы серьезным указанием на существование нетривиальных эффектов.

Как было показано в ряде работ, модель многократного рассеяния правильно описывает интегральные сечения ядро-ядерных взаимодействий. Средние числа взаимодействующих нуклонов налетающего ядра  $\langle N_A \rangle$ , распределения по заряду стриппинговых /непрореагировавших/ частиц  $Z_{st}$ , зависимость сечения выходов фрагментов ядра  ${}^4\text{He}$  от атомного веса мишени, в целом, также находятся в согласии /1,2/ с опытом. Поэтому необходим анализ более детальных характеристик взаимодействия.

Целью настоящей работы является расчет и сравнение с экспериментом распределений по множественности, а также импульсных распределений отрицательно заряженных частиц /это, в основном,  $\pi^-$ -мезоны/, рождающихся в релятивистских ядро-ядерных соударениях.

## 2. НЕКОГЕРЕНТНЫЕ ЯДРО-ЯДЕРНЫЕ СТОЛКНОВЕНИЯ В МОДЕЛИ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Как показано в работе /1/, сечение некогерентного взаимодействия ядра А с ядром В при высокой энергии может быть представлено в виде

$$\sigma_{AB}^{\text{react.}} = \int d^2b \{ 1 - [D(b)]^A \}, \quad /1/$$

$$D(b) = \int \rho_A(t-b) \exp[-\sigma \rho_B(t)] d^2t, \quad /2/$$

где  $\rho_A$  и  $\rho_B$  - одночастичные плотности ядер, проинтегрированные по продольным координатам:

$$\rho(t) = \int \rho(t, t_z) dt_z, \quad \int \rho(t) d^2t = 1, \quad /3/$$





$\sigma = \sigma_{NN}^{tot}$  - полное сечение нуклон-нуклонного взаимодействия. Используемый в /2/ вид функции  $D(b)$  отвечает "экспоненциальному" приближению /1/ и соответствует учету диаграмм, в которых каждый нуклон ядра  $A$  может взаимодействовать с одним или несколькими нуклонами ядра  $B$ , но каждый нуклон ядра  $B$  взаимодействует только один раз. Такое несимметричное приближение оправдано в случае  $A \ll B$ ; оно имеет ряд преимуществ перед оптическим приближением /3/. С другой стороны, различие между экспоненциальным приближением и более точными, но весьма трудоемкими расчетами /4,5,6/, не превышает нескольких процентов.

Функция  $D(b)$  /2/ определяет вероятность одному из нуклонов ядра  $A$  пройти сквозь ядро  $B$  без взаимодействия. Вероятность того, что именно  $N_A$  нуклонов ядра  $A$  провзаимодействуют, равна /1/

$$V(N_A) = \frac{1}{\sigma_{AB}^{react.}} C_A^{N_A} \int d^2b [D(b)]^{A-N_A} [1 - D(b)]^{N_A} \quad /4/$$

Если каждый из  $N_A$  нуклонов взаимодействует независимо от других, то ядро-ядерное соударение сводится к суперпозиции нуклон-ядерных столкновений.

Характеристики нуклон-ядерных столкновений можно взять из опыта, при этом, однако, следует учесть различие характеристик протон- и нейтрон-ядерных взаимодействий, а также то обстоятельство, что малые значения  $N_A$  отвечают периферическим ядро-ядерным /а значит, и нуклон-ядерным/ столкновениям, а значения  $N_A > \langle N_A \rangle$  - более центральным взаимодействиям. Заметим, что интегрирование в /4/ в заданном интервале прицельных параметров сталкивающихся ядер позволяет рассчитывать характеристики вторичных частиц для этого интервала, например, для центральных соударений.

### 3. ВЫЧИСЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

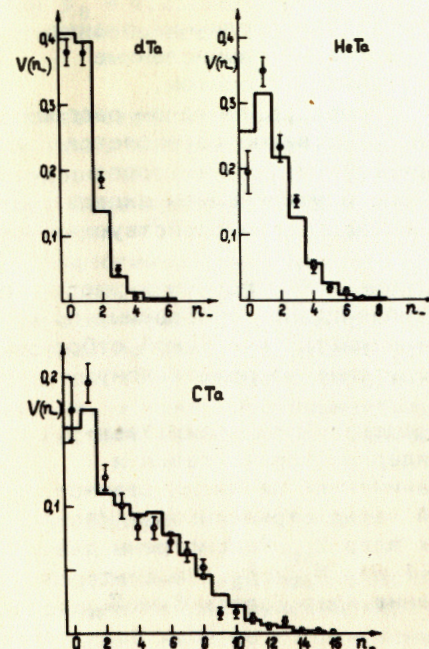
Вычисление распределений по множественности, а также импульсных распределений  $\pi^-$ -мезонов в рамках модели многократного рассеяния проводится путем генерации по методу Монте-Карло и включает следующие этапы:

- розыгрыш величины прицельного параметра  $b$  в соответствии с вкладом в сечение  $\sigma_{AB}^{react.}$  (1);
- вычисление распределения  $V(N_A, b)$  по числу взаимодействующих нуклонов /4/ при данном значении прицельного параметра  $b$ , и розыгрыш величины  $N_A$ ;
- розыгрыш числа рожденных  $\pi^-$ -мезонов /величин импульсов  $\pi^-$ -мезонов/ для каждого из взаимодействующих нуклонов налетающего ядра.

Для расчетов необходимы экспериментальные данные по нуклон-ядерным взаимодействиям при различных прицельных параметрах столкновения. В центральных соударениях существен вклад в неупругое сечение повторных взаимодействий налетающего нуклона с нуклонами ядра-мишени. Поэтому множественность вторичных частиц в таких событиях выше, мягче их импульсный спектр. В периферических столкновениях вклад повторных взаимодействий незначителен, и по своим характеристикам они подобны нуклон-нуклонным соударениям. Поэтому для параметров столкновения, больших некоторого граничного значения  $b > b_0$ , в расчетах использовались характеристики  $\pi^-$ -взаимодействий при близком значении первичного импульса /7/. Для меньших значений  $b \leq b_0$  использовались центральные нуклон-ядерные взаимодействия, к которым были отнесены столкновения, сопровождающиеся испусканием большого числа  $g$ -частиц. Величина  $b_0$  определяла вклад центральных взаимодействий ( $0 \leq b \leq b_0$ ) в сечение  $\sigma_{AB}^{react.}$ , приблизительно одинаковый для разных налетающих ядер и равный ~70% для мишени из тяжелых ядер.

### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И СРАВНЕНИЕ ИХ С ОПЫТОМ

В настоящей работе вычисления сделаны для взаимодействий легких ядер с танталовой мишенью / $A=181$ / в интервале энергий /2 ÷ 5/ ГэВ на нуклон.



На рис.1 представлены распределения по множественности  $\pi^-$ -мезонов в неупругих столкновениях ядер дейтерия, гелия и углерода с ядром тантала при импульсе  $p_0 = 4,2$  ГэВ/с на нуклон /8/. Расчет приведен в виде гистограммы. Имеется неплохое согласие расчетов с экспериментальными данными. В таблице представлены экспериментальные значения средних  $\langle n \rangle$  и дисперсий  $D^2$  распределений по множественности  $\pi^-$ -мезонов во

Рис.1. Распределения по множественности  $\pi^-$ -мезонов в неупругих столкновениях ядер дейтерия, гелия и углерода с ядром тантала при импульсе  $p_0 = 4,2$  ГэВ/с на нуклон. Расчет приведен в виде гистограммы.



Таблица

Средние значения  $\langle n_- \rangle$  и дисперсии  $D_-^2$  распределений по множественности  $\pi^-$ -мезонов во взаимодействиях легких ядер (d, He, C) с ядрами тантала при различных значениях первичного импульса  $p_0$ . Экспериментальные данные взяты из работы /8/

A	$p_0$	$\langle n_- \rangle$		$D_-^2$	
		экспер.	расчет	экспер.	расчет
C	4,2	3,40±0,20	3,56	9,30±0,60	9,19
	5,1	1,93±0,10	1,97	2,40±0,20	2,86
	2,3	0,61±0,03	0,62	0,61±0,05	0,59
He	4,2	1,60±0,10	1,53	1,76±0,15	1,94
	5,1	1,15±0,10	1,13	1,04±0,10	1,14
	2,3	0,34±0,04	0,36	0,29±0,02	0,30
d	4,2	0,91±0,05	0,86	0,84±0,05	0,88
	5,1	1,93±0,10	1,97	2,40±0,20	2,86
	2,3	0,61±0,03	0,62	0,61±0,05	0,59

взаимодействиях ядер d, He и C с ядрами Ta при различных значениях первичного импульса /8/. Там же приведены вычисленные величины  $\langle n_- \rangle$  и  $D_-^2$ . Расчеты хорошо согласуются с опытом.

Видно, что при взаимодействии ядер углерода с танталом распределение по числу рожденных  $\pi^-$ -мезонов существенно расширяется и становится шире пуассоновского распределения, для которого  $\langle n_- \rangle / D_-^2 = 1$ . Как известно /9/, это связано с увеличением вклада в дисперсию распределения  $D_-^2$  флуктуации числа взаимодействующих нуклонов.

В рамках модели многократного рассеяния можно получить распределения по множественности для взаимодействий, отобранных по заданным критериям. При этом следует учитывать, что такой отбор событий определяет, в принципе, распределение по прицельному параметру сталкивающихся ядер.

На рис.2 представлены расчеты распределений по множественности  $\pi^-$ -мезонов для взаимодействий ядер дейтерия, гелия и углерода с танталом при различных ограничениях на число взаимодействующих нуклонов  $N_A$  и на суммарный заряд стриппинговых /не-взаимодействующих/ протонов налетающих ядер  $Z_{st}$ . Рассмотрены два крайних случая - периферические / $N_A = 1$  или  $Z_{st} = Z_A$ / и центральные / $N_A = A$  или  $Z_{st} = 0$ / столкновения ядер /здесь A и  $Z_A$  -

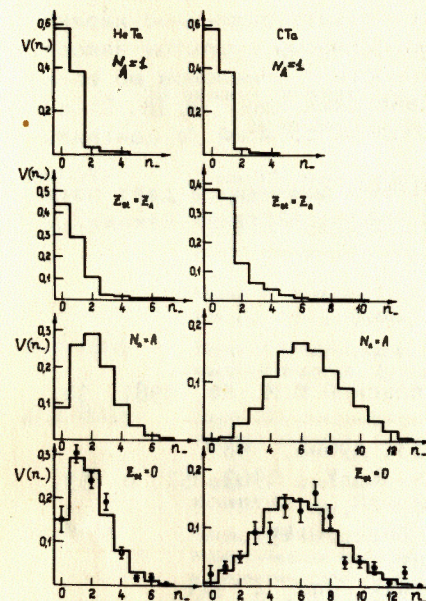
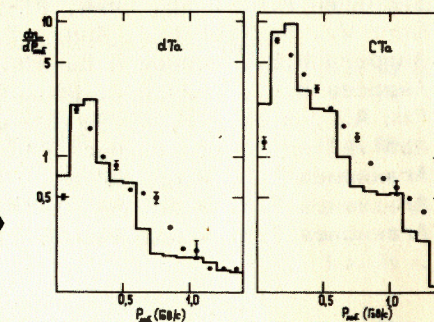


Рис.2. Распределения по множественности  $\pi^-$ -мезонов при различных ограничениях на  $N_A$  и  $Z_{st}$  в соударениях ядер (d, He, C) и Ta при импульсе  $p_0 = 4,2$  ГэВ/с на нуклон.

Рис.3. Импульсные спектры  $\pi^-$ -мезонов в соударениях с танталом ядер дейтерия и углерода при  $p_0 = 4,2$  ГэВ/с на нуклон. Сплошная линия - расчет.



соответственно атомный вес и заряд налетающего ядра/. Приводятся также имеющиеся экспериментальные данные /8/ для He-Ta- и C-Ta-соударений при  $Z_{st} = 0$ . Расчеты неплохо согласуются с экспериментом. В центральных столкновениях ядер распределения по множественности  $\pi^-$ -мезонов близки к пуассоновским.

Аналогично тому, как это делалось для расчета распределений по множественности  $\pi^-$ -мезонов, в модели многократного рассеяния можно вычислить, например, импульсные распределения вторичных частиц. На рис.3 приведены результаты вычислений импульсного спектра  $\pi^-$ -мезонов в соударениях с танталом ядер дейтерия и углерода, а также экспериментальные данные из работы /10/.

Расчеты качественно воспроизводят экспериментальные данные.

## 5. ВЫВОДЫ

Модель многократного рассеяния правильно описывает ряд интегральных характеристик ядро-ядерных взаимодействий. Рассматривая ядро-ядерные столкновения как суперпозицию нуклон-ядерных



соударений, в рамках модели можно рассчитывать различные характеристики вторичных частиц. В неплохом согласии с опытом находятся расчеты распределений по множественности  $\pi^-$ -мезонов во всех неупругих столкновениях легких релятивистских ядер (d, He, C) с ядром тантала, а также в отдельных выборках событий /в центральных соударениях/.

Сравнения расчетов с экспериментальными данными не дает пока указаний на проявление в ядро-ядерных взаимодействиях каких-либо нетривиальных эффектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гаспарян А.П., Чеплаков А.П., Шабельский Ю.М. ЯФ, 1981, 34, с. 1328.
2. Гаспарян А.П. и др. ОИЯИ, P1-81-753, Дубна, 1981.
3. Czyz W., Maximon L.G. Ann. of Phys. N.-Y., 1969, 52, p. 59.
4. Андреев И.В., Чернов А.В. ЯФ, 1978, 28, с. 477.
5. Андреев И.В., Хейн Л.А. ЯФ, 1978, 28, с. 1499.
6. Пак А.С. и др. ЯФ, 1979, 30, с. 102.
7. Abdivaliev A. et al. Nucl. Phys., 1975, B99, p. 445.
8. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, 1-83-22, Дубна, 1983.
9. Агакишиев Г.Н. и др. ЯФ, 1981, 33, с. 1046.
10. Агакишиев Г.Н. и др. ЯФ, 1981, 34, с. 1517.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 марта 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, ИРБ, 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



**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Гаспарян А.П., Чеплаков А.П., Шабельский Ю.М. P1-83-165  
Рождение  $\pi$ -мезонов при соударении релятивистских ядер  
в модели многократного рассеяния

Рассматривается процесс рождения вторичных частиц при столкновении ядер с ядрами в рамках модели многократного рассеяния. Вычислены распределения по множественности  $\pi^-$ -мезонов во всех неупругих взаимодействиях легких релятивистских ядер (d, He, C) с ядрами тантала, а также в отдельных выборках событий /в центральных соударениях/. Расчеты неплохо согласуются с экспериментальными данными. Сравнение расчетов с опытом не дает указаний на проявление в ядро-ядерных взаимодействиях каких-либо нетривиальных эффектов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Gasparian A.P., Cheplakov A.P., Shabelski Yu.M. P1-82-165  
 $\pi^-$ -Meson Production in Collisions of Relativistic Nuclei  
in the Framework of the Multiscattering Model

The production of secondary particles in collisions of relativistic nuclei is considered. Multiplicity distributions and momentum spectra of  $\pi^-$ -mesons are calculated. The results are in good agreement with the experimental data.

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.