



сообщения
Объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

C343e2

A-95

23/11-79

1 - 12114

1533/2-79

Н.Ахабабян, Ц.Баатар, А.П.Гаспарян,
Н.С.Григалашвили, Г.Р.Гулканян, И.А.Ивановская,
А.П.Чеплаков

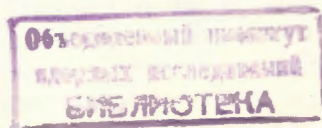
МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЧЕНИЯ
НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР С ЯДРАМИ

1979

1 - 12114

Н Ахабабян, Ц.Баатар, А.П.Гаспарян,
Н.С.Григалашвили,¹ Г.Р.Гулканян,² И.А.Ивановская,
А.П.Чеплаков

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЧЕНИЯ
НЕУПРУГИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР С ЯДРАМИ



¹ Тбилисский государственный университет.

² Ереванский физический институт.

Ахабабян Н. и др.

I - 12114

Методические вопросы определения сечения неупругих взаимодействий релятивистских ядер с ядрами

Рассмотрены методические вопросы, возникающие при определении сечений неупругого столкновения релятивистских ядер p, d, He и C в 2-метровой пропановой пузырьковой камере с мишенью, состоящей из тонких танталовых пластинок. Дан обзор имеющихся в настоящее время экспериментально полученных сечений взаимодействия релятивистских ядер с ядрами. Сечения неупругих взаимодействий находятся в удовлетворительном согласии с расчетами по геометрическим моделям.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Akhababian N. et al.

I - 12114

Methodical Problems of Determination of Cross Sections in Inelastic Interactions of Relativistic Nuclei with Nuclei

Methodical problems are considered arising at the determination of cross sections of p, d, He and C relativistic nuclei inelastic interactions with a target, consisting of thin tantalum plates in the 2 m propane bubble chamber. The available experimental cross sections of the interactions of relativistic nuclei with nuclei are reviewed. It is shown that cross sections of inelastic interactions are in a satisfactory agreement with geometrical model calculations.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы большой интерес вызывают экспериментальные исследования взаимодействий ядер с ядрами. Одной из основных характеристик столкновения ядер является их сечение взаимодействия. Знание величин сечений важно для развития как ядерной физики, так и прикладных областей исследований. В настоящее время имеется всего несколько экспериментальных работ^{/1-8/} по определению сечений ядер с ядрами при импульсе на нуклон $P_0 > 1$ ГэВ/с.

В данной работе рассматриваются методические вопросы, возникающие при определении неупругих сечений взаимодействия релятивистских ядер (p, d, He, C) с ядрами углерода и тантала с помощью 2-метровой пропановой камеры Лаборатории высоких энергий ОИЯИ. Внутри рабочего объема камеры в качестве мишени были размещены три пластинки из тантала $A=181$ размером $140 \times 60 \times 11$ мм³. Экспериментальные данные получены при первичном импульсе на нуклон $P_0 = 4,2$ ГэВ/с. В случае столкновения ядер появляются специфические трудности при получении сечений сильного взаимодействия: полного σ_{tot} , неупругого σ_{in} и упругого σ_{el} . Во взаимодействиях элементарных частиц сечения σ_{el} и σ_{in} на эксперименте разделяются достаточно четко. В случае взаимодействия нуклона с ядром возникают новые процессы: упругое рассеяние с возбуждением ядра σ'_{el} , дифракционная диссоциация ядра-мишени σ_{dif} , упругое рассеяние на квазисвободном нуклоне ядра σ_q , когерентное рождение частиц на ядре как целом σ'_{coh} . Возможны

и другие реакции, которым нет аналога в NN-столкновениях. Такое разделение на типы взаимодействий зачастую носит условный характер, т.к. зависит от методических условий регистрации. В случае столкновений ядро-ядро классификация сечений еще более усложняется. Кроме этого, надо иметь в виду существенный вклад кулоновского рассеяния при взаимодействии с тяжелым ядром.

С методической точки зрения пузырьковые камеры целесообразно использовать для получения сечений неупругого взаимодействия σ_{in} . События упругого рассеяния ядер будут в основном теряться при просмотре из-за малого угла рассеяния и малого изменения первичного импульса. Неупругие сечения, которые определяются нами, соответствуют величине

$$\sigma_{in} = \sigma_{tot} - \sigma_{el} - \sigma'_{el} - \sigma_{dif} \quad /1/$$

Здесь σ_{el} - сечение упругого рассеяния ядер, σ'_{el} - сечение рассеяния с возбуждением ядра, σ_{dif} - сечение дифракционной диссоциации ядер. Вклад процесса когерентного рождения частиц при наших энергиях незначителен.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЧЕНИЙ НЕУПРУГОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

1. Сечения определялись на основе результатов просмотра стереоснимков. События отбирались как в пропане, так и в пластинках мишени. Эффективный объем ограничивался 1 и 3 пластинкой по пучку /см. рис. 1/. Расстояние между соседними пластинками равнялось 93 мм. Средняя толщина пластинки составляла 0,975 мм. Величины углов между направлениями пучковых ядер и осями, перпендикулярными плоскостям пластинок, находились в интервале /3-8/. Регистрировались все звезды, которые возможно заметить визуально. При просмотре терялась существенная доля однолучевых звезд с углом отклонения от направления пучка $\phi \leq 30$ мрад и изменением импульса на величину меньше чем ~ 20% от первичного значения. Сечения получались из соотношения

$$N = N_0 [1 - \exp(-n\sigma\chi)], \quad /2/$$

где N - число событий в тантале /пропане/, N_0 - число пучковых ядер, n - число ядер в 1 см^3 мишени, χ - толщина мишени из тантала /слоя пропана/ по пучку, σ - сечение неупругого взаимодействия. Плотности пропана и тантала равны 0,43 г/см³ и 16,6 г/см³ соответственно. Для выделения сечения взаимодействия с ядром углерода использовалось соотношение

$$\sigma_{C_3H_8} = 3\sigma_c + 8\sigma_p \quad /3/$$

Здесь $\sigma_{C_3H_8}$ - сечение взаимодействия на молекуле пропана, которое определяется экспериментально; σ_c - сечение взаимодействия на ядре углерода, σ_p - на протоне. Сечения взаимодействия pp, dp, Np и Sp брались из литературы /4, 9, 10/.

В табл. 1 даны числа пучковых ядер N_0 и наблюдаемых звезд N в пропане и тантале. Для взаимодействия с танталом приведено полное число звезд, зарегистрированных в трех пластинках, и суммарное число пучковых ядер, падающих на 1-ю, 2-ю и 3-ю пластинки. В случае взаимодействия с пропаном дано полное число событий, найденных между 1,2 и 2,3 пластинками, и суммарное число первичных ядер, падающих на 1-ю и 2-ю части эффективного объема в пропане.

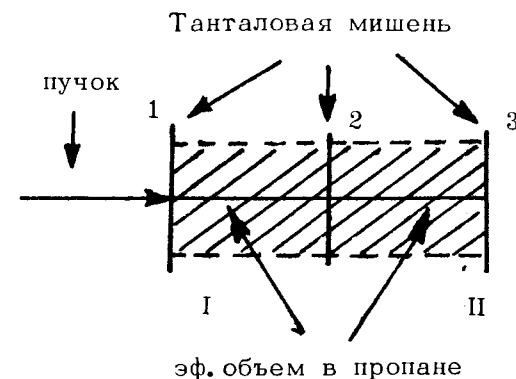


Рис. 1

2. Для оценки примеси непучковых частиц к первичным ядрам проводились измерения треков пучковых частиц, не провазимодействовавших на длине ~ 100 см. После обсчета по геометрической программе строилось распределение по кривизне трека K , которое при отсутствии примесей должно иметь форму, близкую к гауссовской, т.к. примесь в нашем случае возникает в основном от взаимодействия первичных ядер до выбранного эффективного объема /см. рис. 1/. Из сравнения правой и левой частей распределения следует, что примесь непучковых частиц не превышает нескольких процентов для всех облучений. На рис. 2 приведено распределение по кривизне треков для облучения ядрами гелия при импульсе на нуклон $P_0 = 4,2$ ГэВ/с.

У отобранных при просмотре звезд первичный трек имеет меньшую длину, в среднем ~ 30 см. Это может затруднить идентификацию пучкового ядра по визуальным критериям. При прохождении слоя пропана до эффективного объема первичные ядра d , He и C могут дать однолучевую звезду с малым углом отклонения от первичного трека, который визуально невозможно обнаружить на длине $l < 30$ см. Например, могут идти следующие реакции дифракционного типа:

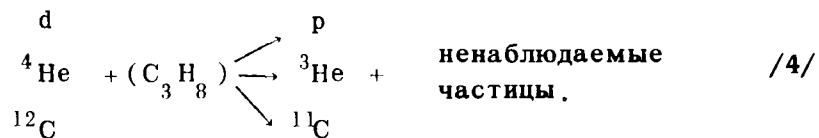


Таблица 1

Количество наблюдаемых звезд и треков пучковых ядер

$A_t \backslash A_i$		p	d	He	C
Ta	N	285	425	501	343
	N_0	29400	36424	35467	15171
C_3H_8	N	1234	2265	2840	2530
	N_0	20374	25379	24759	11173

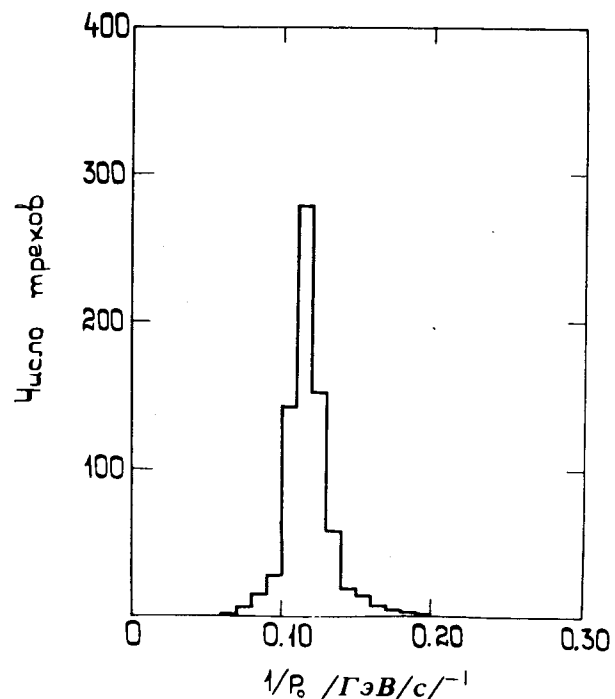
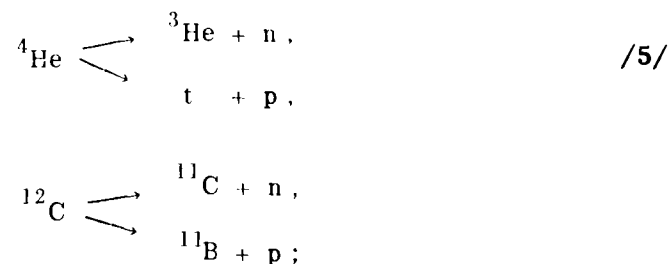


Рис.2. Распределение по величине кривизны $K \sim 1/P$ первичных треков для облучения камеры ядрами гелия при импульсе на нуклон $P_0 = 4,2$ ГэВ/с.

Для оценки такой примеси использовалась следующая информация:

а/ факт равенства сечений процессов



б/ величины плотности δ -электронов на следах пучковых ядер ^{/11/};

в/ данные об угловых распределениях для однолучевых звезд с импульсом вторичной частицы $P_+ \geq 3 \text{ ГэВ/с}$.

Оказалось, что примесь посторонних треков к трекам пучковых ядер из-за взаимодействий в пропане до эффективного объема незначительная, $\leq 1-3\%$.

3. Среди событий, найденных при визуальном отборе звезд в пластинках, возможна примесь событий, которые произошли в пропане вблизи пластинки. Измерения вершин звезд указывают на то, что наш материал состоит из событий, произошедших в 3 мм тантала и ~ 3 мм пропана. Используя данные табл. 1, получим, что примесь от событий в пропане вблизи пластинок для облучений p, d, He и C составляет $7 \pm 2, 9 \pm 3, 9 \pm 3, 13 \pm 4\%$ соответственно.

4. Рассмотрим подробнее процедуру определения сечения для протонного облучения. Оценим поправку на примесь событий упругого рассеяния и на потерю событий квазиупругого рассеяния. В табл. 2 приведены величины сечений и параметра наклона в упругом рассеянии, в ГэВ/с^{-2} , в pA-столкновениях, которые использовались нами для коррекции экспериментальных сечений. Данные табл. 2 получены из обзора работ ^{/4, 9, 10, 12/}. Известно ^{/12/}, что се-

Таблица 2

Величины сечений и параметра наклона для pA-взаимодействий при импульсе ~ 4 ГэВ/с

pA	σ_{in} (мб)	σ_{el} (мб)	σ_q (мб)	$b(\text{ГэВ/с})^{-2}$
pp	30	12	-	7
pd	70	10	20	40
pHe	100	40	25	40
pC	250	110	44	67
pTa	1700	1300	110	400

чение σ_q для pA-взаимодействий хорошо аппроксимируется эмпирической зависимостью

$$\sigma_q = 1,6 A^{1/3} \sigma_{el}^{NN} \quad /6/$$

Для оценки величины b в pTa-столкновениях использовались экспериментальные данные о взаимодействии нуклонов с различными ядрами. В настоящее время хорошо известны эмпирические зависимости

$$\sigma_{tot} \sim A^{2/3} \quad /7/$$

$$b \sim \sigma_{tot} \quad /8/$$

Потеря однолучевых звезд с $\phi \lesssim 30 \text{ мрад}$ при импульсе $P_0 = 4,2 \text{ ГэВ/с}$ соответствует потере событий с квадратом четырехмерного передаваемого импульса $|t| \lesssim 0,016 \text{ ГэВ/с}^2$. Дифференциальное сечение упругого рассеяния аппроксимируется зависимостью

$$\frac{d\sigma_{el}}{dt} \sim e^{-b|t|} \quad /9/$$

Отсюда следует, что от полного сечения упругого рассеяния σ_{el} нами регистрируются во взаимодействиях pp - 90%, pC - 34%, pTa - 0,2%.

Для выделения неупругого сечения на углероде необходимо вычесть из экспериментального сечения взаимодействия в пропане наблюдаемые доли сечения упругого pC-взаимодействия и полного сечения pp-столкновений /см. формулу /3//, затем сделать поправку на потерю событий от квазиупругого рассеяния σ_q . Из экспериментальных данных по взаимодействию d, He и C с пропаном и танталом следует /см. табл. 3/, что доля событий, которые по топологии можно отнести к процессу дифракционной диссоциации налетающих ядер, не превышает нес-

кольких процентов. При взаимодействии первичного протона с углеродом пропана основная доля событий дифракционного развала ядра-мишени имеет медленные протоны с импульсом $P_p \leq 140 \text{ МэВ/с}^{17/}$, которые не видны в пропановой камере. Поэтому примесь регистрируемых событий, возникающих при дифракционном развале ядра-мишени, незначительна.

Экспериментальное сечение взаимодействия протонов с пропаном оказалось равным $/1161 \pm 35/ \text{ мб}$. Тогда сечение неупругого pC -столкновения, определенное по формуле $/3/$, с учетом поправки на упругое и квазиупругое рассеяние, равно $/250 \pm 15/ \text{ мб}$.

Для независимой качественной проверки процедуры определения сечений при просмотре отмечались однолучевые звезды с импульсом $P_+ \geq 3 \text{ ГэВ/с}$ и углом отклонения от первичного трека $\phi \leq 10^\circ$. Если предположить, что источником однолучевых звезд, наблюдаемых при просмотре, являются упругое pp -, упругое pC - и квазиупругие взаимодействия, то расчетное значение отношения числа однолучевых событий с углом отклонения $\phi > 30 \text{ мрад}$ ко всем зарегистрированным звездам равняется $\sim 15\%$. На опыте наблюдается 22% однолучевых событий. Такое различие между расчетом и экспериментом можно объяснить вкладом периферических неупругих взаимодействий, в которых регистрируется один положительный трек с $P_+ \geq 3 \text{ ГэВ/с}$ и $\phi \leq 10^\circ$.

Для определения неупругого сечения pTa -столкновений из наблюдаемого числа звезд вычитаются события в пропане вблизи пластинок и добавляются потерянные события от квазиупругого рассеяния. После поправок экспериментальное сечение оказалось равным $/1670 \pm 110/ \text{ мб}$.

Полученные величины сечений взаимодействия протонов с ядрами углерода и тантала находятся в хорошем согласии с имеющимися экспериментальными данными $/13/$.

5. Величины параметра наклона для упругого рассеяния d, He и C на углероде $/4/$ равны $/106 \pm 4; 129 \pm 4; 204 \pm 11/ \text{ ГэВ/с}^{-2}$ соответственно. В случае рассеяния этих ядер на тантале $b > 400 \text{ ГэВ/с}^{-2}$. Кроме того, полный импульс падающих ядер больше, чем импульс

первичных протонов. Оба этих фактора - увеличение параметра наклона и увеличение первичного импульса - приводят к практически полной потере событий упругого рассеяния на ядрах тантала и углерода. При взаимодействии d, He и C с протоном пропана часть случаев упругого рассеяния проявляется в виде 2-лучевых звезд благодаря наблюдению протона отдачи с $P_p > 140 \text{ МэВ/с}$.

Для оценки доли событий дифракционной диссоциации при просмотре отмечались звезды, в которых все лучи имеют импульсы $P_+ \geq 3 \text{ ГэВ/с}$ и $\phi \leq 4^\circ$. В табл. 3 приведены доли таких случаев в процентах по отношению ко всем наблюдаемым событиям. В протонном облучении однолучевые звезды с $P_+ \geq 3 \text{ ГэВ/с}$ и $\phi < 4^\circ$ состоят в основном из событий упругого рассеяния на углероде и протоне пропана.

Вклад событий квазиупругого рассеяния ядер оценивался нами по формуле, полученной на основе геометрической картины взаимодействия

$$\sigma_q^{AA} = 1,6 (A_i^{1/3} + A_t^{1/3} - 1) \sigma_{cl}^{NN} \quad /10/$$

В табл. 4 приведены величины коэффициентов в процентах, которые использовались для определения сечений на углероде пропана. Проводилась следующая процедура:

а/ определялось сечение взаимодействия ядер с пропаном на основе полного числа наблюдаемых звезд;

б/ вычиталась часть сечения $\sigma_{C_3H_8}$, соответствующая событиям типа дифракционной диссоциации, σ_{dif} /1-ая строка табл. 4/;

в/ из оставшейся величины сечения вычитались сечения, соответствующие зарегистрированным событиям от взаимодействия ядер с протонами пропана, σ'_p , и случаям упругого рассеяния на ядрах углерода σ'_c /2- и 3-я строки табл. 4/;

г/ делалась поправка на потерю событий квазиупругого рассеяния, σ'_q /4-я строка табл. 4/.

В табл. 5 даны величины поправок в процентах к наблюдаемому числу событий в тантале. Здесь словом "пучок" обозначена величина поправки из-за непучковых частиц;

Таблица 3

Вклад событий типа дифракционной диссоциации в полное число наблюдаемых звезд /в %/

$A_i \backslash A_1$	p	d	He	C
C_3H_8	20	2,4	2,3	4,0
Ta	6,7	3,0	2,0	2,0

Таблица 4

Величины коэффициентов /в %/, используемых для определения неупругих сечений взаимодействия ядер p, d, He, C с ядрами углерода

Тип коррекции $\backslash A_i$	p	d	He	C
σ'_{dif}	-	-2,4	-2,3	-4
σ'_p	-28	-34	-42	-49
σ'_c	-13	-	-	-
σ'_q	+2	+4	+5	+3

Таблица 5

Величины поправок /в %/, используемых для определения неупругих сечений взаимодействия ядер p, d, He, C с ядрами тантала

Тип коррекции $\backslash A_i$	p	d	He	C
"Пучок"	-	-	-	+1
"Пропан"	-7	-9	-9	-13
σ'_{dif}	-	-3	-2	-2
σ'_q	+0,7	+1,6	+1,5	+1,0
Σ	-6,3	-10,4	-9,5	-13

Таблица 6

Неупругие сечения $A_i A_1$ - взаимодействия /в мб/

$A_i \backslash A_1$	p	d	He	C
C_3H_8	1161 \pm 40	1710 \pm 40	2225 \pm 50	4679 \pm 105
C	250 \pm 15	380 \pm 20	440 \pm 20	790 \pm 50
Ta	1670 \pm 110	1940 \pm 110	2340 \pm 120	3670 \pm 220

словом "пропан" - величина примеси событий в пропане вблизи пластинок; Σ - суммарная поправка.

В табл. 6 приведены полученные нами экспериментальные величины сечений /5/.

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН СЕЧЕНИЙ

В табл. 7 приводятся все имеющиеся в настоящее время экспериментальные сечения неупругих взаимодействий релятивистских ядер с ядрами.

Видно, что сечения, полученные электронной методикой, как правило, больше сечений, определенных трековой методикой. Возможно, это объясняется тем, что в электронных экспериментах /3, 4/ σ_{in} непосредственно не измеряется. Неупругое сечение получается посредством вычитания

$$\sigma_{in} = \sigma_{tot} - \sigma_{el} \quad /11/$$

В таком подходе к неупругим сечениям относятся сечения всех процессов, отличных от упругого рассеяния.

На рис. 3 показана зависимость неупругих сечений от атомного веса ядра-снаряда A_i и ядра-мишени A_1 .

Таблица 7

Неупругие сечения взаимодействий ядро-ядро /в мб/

$A_t \backslash A_i$	d	He	C	O
d	$134 \pm 3,3^{3/4/}$	$205 \pm 2,8^{4/}$	$422 \pm 2,5^{4/}$	
He	$200 \pm 6,3^{3/4/}$	$276 \pm 3,7^{4/}$ $304^* /3/$	$523 \pm 4,7^{4/}$	
Li		$320 \pm 15^{2/}$		
C	$431 \pm 3,5^{4/}$	$410 \pm 25^{1/}$	$686 \pm 19^{4/}$	$1022 \pm 25^{6/}$
	$380 \pm 20^{5/}$	$450 \pm 20^{2/}$	$790 \pm 50^{5/}$	
		$529^* /3/$	$826 \pm 23^{6/}$	
		$547 \pm 3^{4/}$ $440 \pm 20^{5/}$		
O		$500 \pm 30^{1/}$		
Ne		$615 \pm 40^{2/}$		
Al		$720 \pm 30^{2/}$ $813^* /3/$		
S				$1420 \pm 50^{6/}$
Cu		$1150 \pm 50^{2/}$	$1730 \pm 36^{6/}$	$1950 \pm 41^{6/}$
		$1380^* /3/$		
Br		$1570 \pm 60^{1/}$		
Ag		$1910 \pm 70^{1/}$		
Ta	$1940 \pm 110^{5/}$	$2340 \pm 120^{5/}$	$3670 \pm 220^{5/}$	
W			$3000 \pm 100^{7/}$	$3500 \pm 300^{7/}$
Pb		$2400 \pm 170^{2/}$	$2960 \pm 65^{6/}$	$3270 \pm 32^{6/}$
CNO				$1007 \pm 175^{8/}$
Ag Br				$2180 \pm 270^{8/}$
CsI			$2600 \pm 100^{7/}$	$3000 \pm 200^{7/}$

* Ошибки не приводятся.

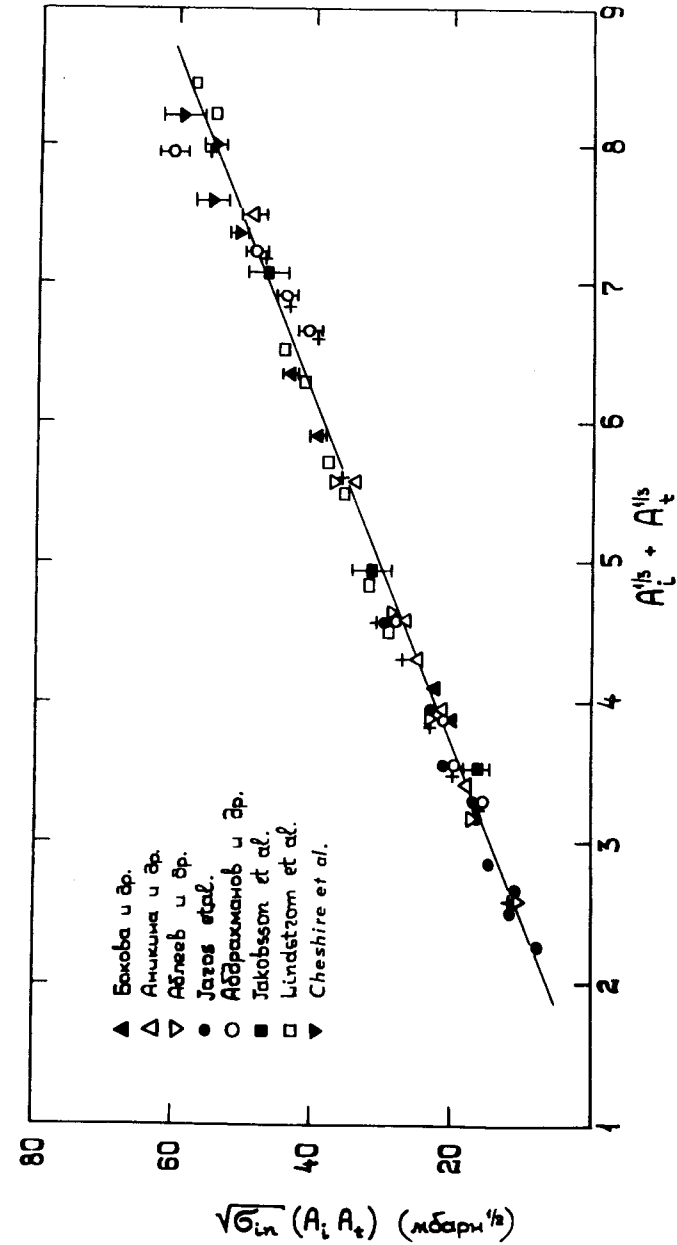


Рис.3. Сечения неупругого взаимодействия ядер в зависимости от атомного веса ядра-снаряда A_i и ядра-мишени A_t .

Сплошная линия соответствует расчетам по модели твердых сфер с перекрытием ^{/14/}:

$$\sigma_{in} = \pi R_0^2 (A_i^{1/3} + A_t^{1/3} - b)^2 \quad /12/$$

Параметры R_0 и b фитировались по экспериментальным точкам, полученным трековой методикой, $R_0 = 1,48 \pm 0,03$ Фм и $b = 1,32 \pm 0,05$. Крестиками указаны расчеты по модели "мягких сфер" ^{/15/}. Экспериментальные значения радиусов ядер взяты из работы ^{/16/}. Видно, что экспериментальные сечения находятся в удовлетворительном согласии с теоретическими расчетами ^{/14, 15/}.

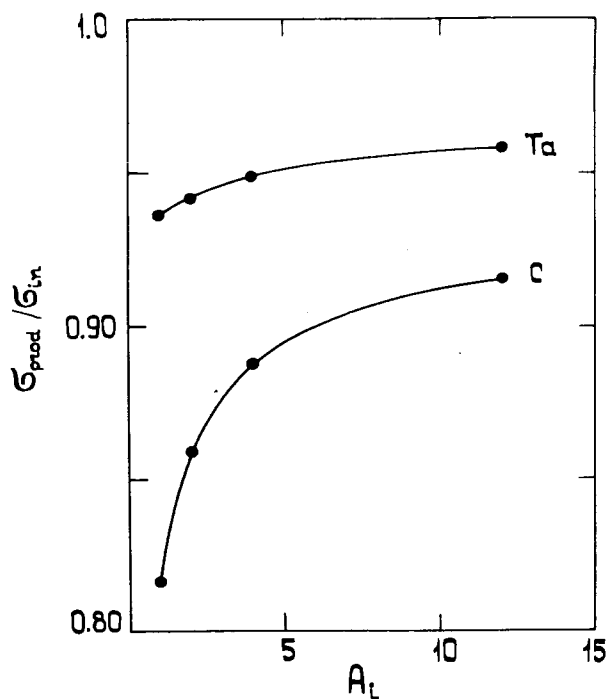


Рис.4. Отношение величин σ_{prod} к σ_{in} , рассчитанное по модели "мягких сфер" для взаимодействий p, d, He и C с ядрами углерода и тантала при импульсе на нуклон $P_0 = 4,2$ ГэВ/с.

При сравнительном анализе процессов множественного образования частиц в неупругих NN- и ядро-ядро взаимодействиях надо иметь в виду, что σ_{in} в AA-взаимодействиях не соответствует σ_{in} в NN-столкновениях. Для наиболее правильного сопоставления экспериментальных данных в ядро-ядерных взаимодействиях необходимо производить нормировку на неупругое сечение рождения частиц σ_{prod} . Экспериментальное получение величины σ_{prod} связано с методическими трудностями. На рис. 4 показано отношение величин σ_{prod} к σ_{in} , рассчитанное по модели "мягких сфер" ^{/15/} для взаимодействий p, d, He и C с ядрами углерода и тантала. Видно, что для взаимодействий с легким ядром различие между σ_{prod} и σ_{in} существенно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ возможных погрешностей и поправок, возникающих при определении сечений неупругих взаимодействий релятивистских ядер в пропановой камере с мишенью из тонких металлических пластинок. При получении сечений возникает ряд неопределенностей, которые практически невозможно учесть. Это ограничивает точность определения неупругих сечений до $\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = (3-5)\%$.

Экспериментальные сечения находятся в удовлетворительном согласии с расчетами по моделям, основанным на геометрических представлениях.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность проф. В.Г.Гришину и М.И.Соловьеву за поддержку в работе и полезные обсуждения, участникам Сотрудничества по исследованиям на 2-метровой пропановой камере за критические замечания, дипломантам Бакинского университета Р.Мехтиеву и Ш.Эминову за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокова Л.Н. и др. ОИЯИ, P1-9364, Дубна, 1975.
2. Аникина М.Х. и др. ОИЯИ, P1-10592, Дубна, 1977.
3. Аблеев В.Г. и др. ОИЯИ, P1-10565, Дубна, 1977.
4. Jaros J.A. Preprint LBL-3849, Berkeley, 1975.
5. Abdurahmanov E.D. et al. JINR, E1-11517, Dubna, 1978.
6. Lindstrom P.J. et al. Proc. 14th Int. Conf. on Cosmic Rays, Munich, 1975, p.2315; Heckman H.H. et al. Phys. Rev., 1978, C17, p. 1735.
7. Cheshire D.L. et al. Phys. Rev., 1974, D10, p.25.
8. Jakobsson B., Kullberg R. Phys. Scr., 1976, 13, p.327.
9. Benary O. et al. NN and ND Interaction (above 0.5 GeV/c). A Compilation UCRL-20000 NN, 1970; Bracci E. et al. Compilation of Cross Sections, CERN/HERA 73-1, 1973.
10. Глаголев В.В. и др. ОИЯИ, P1-10894, Дубна, 1977.
11. Гаспарян А.П., Григалашвили Н.С. ОИЯИ, 1-11335, Дубна, 1978.
12. Belletini G. et al. Nucl. Phys., 1966, 79, 3, p.609.
13. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействия высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. Атомиздат, М., 1972.
14. Bradt H.L., Peters B. Phys. Rev., 1950, 77, p.54; 1950, 80, p.943; Gleghorn T.F., Freier P.S., Waddington C.J. Can. J. Phys., 1968, 46, p.572.
15. Karol P.J. Phys. Rev., 1975, C11, p.1203.
16. Fey G. et al. Z. Phys., 1973, 265, p.401.
17. Steiner H. VIIIth Int. Conf. on High Energy Physics and Nuclear Structure, Zurich, Switzerland, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 декабря 1978 года.