

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



10220

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

P2 - 10220

К.К.Гудима, К.Г.Гуламов, У.Г.Гулямов, Ш.З.Насыров,
Л.Н.Свечникова, В.Д.Тонеев, Г.Н.Чернов

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЯДЕР ^{14}N
С ФОТОЭМУЛЬСИЕЙ ПРИ ЭНЕРГИИ 2,1 ГЭВ/НУКЛОН
И КАСКАДНАЯ МОДЕЛЬ

1976

P2 - 10220

К.К.Гудима,¹ К.Г.Гуламов,² У.Г.Гулямов,² Ш.З.Насыров,²
Л.Н.Свечникова,² В.Д.Тонеев, Г.Н.Чернов²

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЯДЕР ^{14}N
С ФОТОЭМУЛЬСИЕЙ ПРИ ЭНЕРГИИ 2,1 ГЭВ/НУКЛОН
И КАСКАДНАЯ МОДЕЛЬ

ОИИ
БИБЛИОТЕКА

¹ Институт прикладной физики АН МССР, Кишинев.

² Институт ядерной физики АН УзССР, Ташкент.

Гудима К.К. и др.

P2 - 10220

Взаимодействия ядер ^{14}N с фотоэмульсией при энергии 2,1 ГэВ/нуклон и каскадная модель

Исследованы множественности вторичных заряженных частиц, корреляции между ними и угловые распределения в реакции неупругого соударения ионов азота с ядрами фотоэмульсии при энергии 2,1 ГэВ/нуклон. Результаты сравниваются с расчетами по каскадной модели, развитой для случая взаимодействия двух ядер.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1976

Gudima K.K. et al.

P2 - 10220

Interactions of ^{14}N Ions with Photoemulsion Nuclei at an Energy of 2.1 GeV/Nucleon and the Cascade Model

Multiplicity of the charged secondaries, correlations between them and angular distributions are measured in inelastic collisions of nitrogen ions with photoemulsion nuclei at an energy of 2.1 GeV/nucleon. The results obtained are compared with calculations of the cascade model developed for the case of nucleus-nucleus interactions.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1976

1. Получение релятивистских пучков тяжелых ионов на ускорителях Дубны и Беркли привело к возникновению новой области физических исследований - релятивистской ядерной физики. Экспериментальное обнаружение кумулятивного мезообразования^{1/}, опыты по фрагментации релятивистских ядер^{2/}, возможное образование сверхплотного ядерного вещества и ударных волн³ и т.д. привлекают все большее внимание к взаимодействию тяжелых ионов при высоких энергиях.

Так же, как и в адрон-адронных столкновениях, процессы множественного рождения дают основной вклад в сечение неупругого взаимодействия двух ядер. Поэтому интересно выяснить глобальный механизм ядро-ядерных соударений и, в частности, роль каскадных процессов. В настоящей работе представлены новые данные о некоторых общих характеристиках неупругих столкновений ядер ^{14}N с ядрами фотоэмульсии при энергии 2,1 ГэВ/нуклон. Экспериментальные данные сравниваются с расчетами по каскадно-испарительной модели взаимодействия двух ядер, разработанной в ЛТФ ОИЯИ.

2. Стопка ядерных эмульсий Ilford G-5 толщиной 600 мкм была облучена релятивистскими ионами ^{14}N с $T_0 = 2,1$ ГэВ/нуклон на беватроне Беркли. Путем двойного /быстрого и медленного/ просмотра по следу на длине 247 метров было найдено 1813 неупругих событий /средний свободный пробег в эмульсии составил $13,6 \pm 0,4$ см/. Чтобы исключить упругое рассеяние, отбрасывались однолучевые события с углом отклонения вторичного следа $\theta > 5^\circ$ и при отсутствии видимых следов возбуждения или развала ядра-снаряда или ядра-мишени.

Анализируемый в данном сообщении экспериментальный материал составляет 504 неупругих азот-ядерных (NA) взаимодействий, отобранных без какой-либо дискриминации. Во всех этих событиях было проведено разделение вторичных частиц на следующие типы /мы следуем традиционной эмульсионной терминологии/:

а/ "черные" /b-частицы/ - заряженные частицы с пробегом $L < 3$ мм /кинетическая энергия протонов < 25 МэВ/;

б/ "серые" /g-частицы/ - заряженные частицы с пробегом $L > 3$ мм и относительной ионизацией $g/g_0 > 1,4$ / g_0 - ионизация "плато" в данной эмульсии/ за исключением частиц типа г/ /см. ниже/;

в/ релятивистские /s-частицы/ - заряженные частицы с ионизацией $g/g_0 < 1,4$;

г/ двухзарядные фрагменты ядра-снаряда - частицы с ионизацией $g/g_0 \sim 4$, не изменяющейся на длине ≥ 2 см, вылетающие под углом $\theta < 5^\circ$ / θ - пространственный угол в л.с.к./;

д/многозарядные ($Z \geq 3$) фрагменты первичного ядра - частицы с ионизацией $g/g_0 > 7$, не изменяющейся на длине ≥ 2 см ($\theta < 5^\circ$). Сильноионизирующие /h-частицы: $n_h = n_g + n_b$ / частицы типа а/ и в/ принадлежат ядру-мишени, частицы типа г/ и д/ - ядру-снаряду; среди s-частиц имеются рожденные частицы, релятивистские однозарядные частицы отдачи /из ядра-мишени/ и релятивистские однозарядные фрагменты ядра-снаряда. Мы произвели статистическое выделение последних, и релятивистские частицы без сохранившихся однозарядных фрагментов снаряда будут в дальнейшем именоваться s'-частицами.

Для всех вторичных заряженных частиц из NA-взаимодействий были измерены пространственные (θ) и азимутальные (ϕ) углы вылета.

3. В рамках каскадной модели каждое из сталкивающихся ядер в собственной системе координат рассматривается как ферми-газ нуклонов в потенциальной яме Вудса-Саксона $V(r)$. Предполагается, что нуклоны налетающего ядра могут быть описаны в лабораторной систе-

ме координат как независимые частицы, характеризующиеся 4-вектором пространства-времени $\{\vec{r}, t\}$ и 4-вектором импульса-энергии $\{\vec{p}, E\}$ с эффективной массой

$$m_{\text{эфф}} = \sqrt{E^2 - p^2} = m - V(r) - B, \text{ где } m - \text{масса свободного нуклона, } B - \text{средняя энергия связи нуклона в ядре.}$$

Каждый из нуклонов ядра может привести к внутриядерному каскаду в другом ядре. При этом учитываются процессы мезонообразования, влияние принципа Паули, эффект изменения ядерной плотности по мере развития каскада. Таким образом, физическая картина этой стадии взаимодействия напоминает задачу о столкновении двух облаков газа или пыли.

После завершения быстрой каскадной стадии ядра остаются в возбужденном состоянии, и последующий процесс снятия возбуждения описывается с помощью равновесной статистической теории.

Если падающее ядро заменить на адрон, данный подход сводится к обычной каскадно-испарительной модели, которая хорошо зарекомендовала себя в обсуждаемой области энергий первичных частиц $T_0 \leq 5$ ГэВ^{1/4}. При сделанных предположениях распространение каскадно-испарительной модели на случай столкновения двух ядер не требует введения каких-либо дополнительных параметров. Все вычисления были проведены методом Монте-Карло. Детали расчета будут описаны в отдельной работе.

Представленные в данной работе теоретические результаты получены для трех типов ядра-мишени: ⁹⁴Nb, ¹⁴N и ¹H, и в последующем суммировались с весами 0,563; 0,337; 0,100 в соответствии с вычисленными сечениями неупругого взаимодействия и составом ядерной эмульсии.

4. В таблице сравниваются средние множественности различных типов вторичных частиц в NA-соударениях с аналогичными величинами для протон-ядерных (pA) взаимодействий при очень близкой начальной энергии $T_0 = 2,23$ ГэВ^{1/5}. Указаны также значения, следующие из описанной выше каскадной модели. Видно, что средняя

множественность s' -частиц в NA-взаимодействиях значительно выше, чем в pA-соударениях. Если определить среднее число провзаимодействовавших с мишенью нуклонов ядра-снаряда как

$$\langle \nu \rangle = \frac{\langle n_s \rangle_{NA}}{\langle n_s \rangle_{pA}},$$

то

$$\langle \nu \rangle = 8,1 \pm 0,6.$$

Эта величина может быть также оценена и из соотношения $\nu = 14 - 2Q$, где Q - суммарный заряд невзаимодействующих фрагментов налетающего ядра. Минимальное значение Q равно $Q_{\min} = n_{Z=1} + 2n_{Z=2} + 3n_{Z \geq 3}$ /здесь n_Z - число фрагментов с данным Z /. Используя таблицу, легко найти, что

$$\langle \nu \rangle = 7,34 \pm 0,14,$$

что в пределах ошибок не противоречит полученному выше значению.

Таблица

Средние множественности вторичных частиц в pA- и NA-соударениях

	NA-соударения, $T_0 = 2,1$ ГэВ/нукл.		pA-соударения, $T_0 = 2,23$ ГэВ	
	эксперимент (данная работа)	теория	эксперимент /5/	теория
число событий	504	III4	702	543
$\langle n_s \rangle$	$8,85 \pm 0,28$	-	$0,95 \pm 0,05$	1,23
$\langle n_p \rangle$	$7,70 \pm 0,29$	7,78	$0,95 \pm 0,05^*$	1,23*
$\langle n_n \rangle$	$5,29 \pm 0,31$	5,17	$2,42 \pm 0,12$	2,38
$\langle n_b \rangle$	$4,57 \pm 0,21$	4,66	$4,45 \pm 0,22$	4,15
$\langle n_{Z=1} \rangle$	$1,15 \pm 0,05$	-	-	-
$\langle n_{Z=2} \rangle$	$0,81 \pm 0,04$	-	-	-
$\langle n_{Z \geq 3} \rangle$	$0,17 \pm 0,02$	-	-	-

* По определению.

При переходе от pA-к NA-событиям средняя множественность серых треков более чем удваивается, тогда как число b -частиц практически остается неизменным; последний факт свидетельствует о приблизительном равенстве энергий возбуждения в обоих классах соударений.

Экспериментальные данные по средним множественностям хорошо согласуются с рассчитанными по каскадной модели.

На рис. 1 представлены распределения множественности разных типов вторичных частиц в NA-взаимодей-

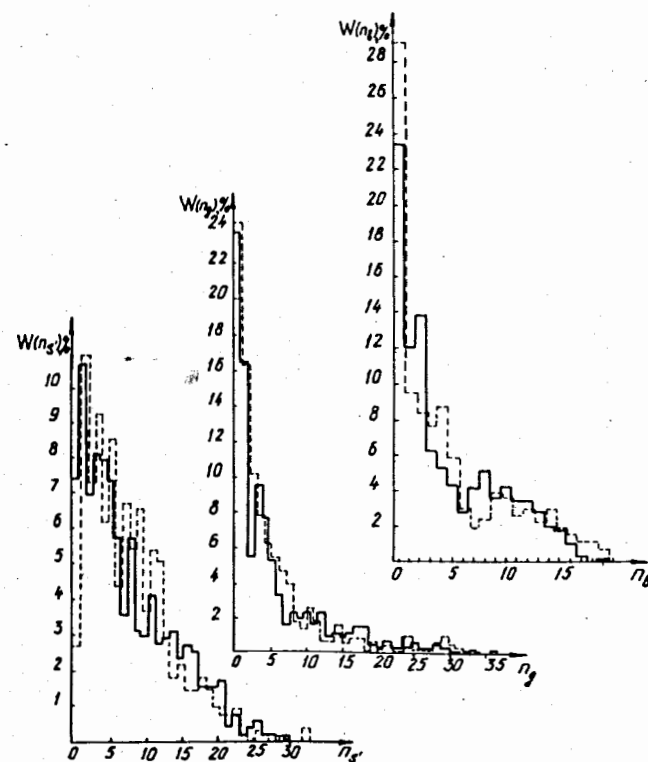


Рис. 1. Распределения множественности заряженных вторичных частиц в $^{14}\text{N} + \text{Em}$ взаимодействиях при 2,1 ГэВ/нуклон. Пунктирные гистограммы представляют расчет по каскадно-испарительной модели.

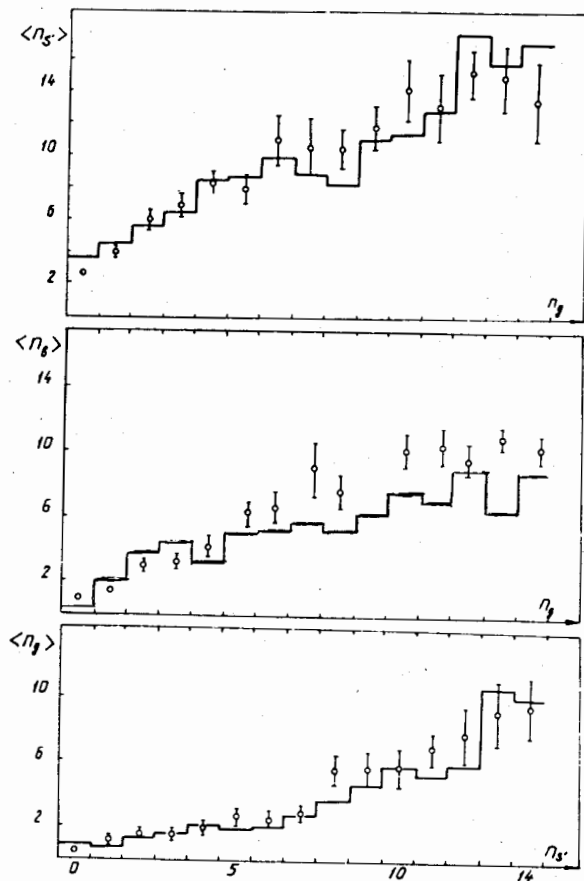


Рис. 2. Корреляции между множественностями частиц различного типа. Гистограммы - расчет каскадной модели.

ствиях наряду с предсказаниями каскадной модели. Из данных можно заключить, что каскадная модель удовлетворительно описывает распределения множественности s' - и b -частиц и очень хорошо воспроизводит множественности g -частиц. Заметное расхождение с опытом в относительной частоте рождения звезд с числом b -частиц, равным нулю, легко объяснить, если учесть, что в эксперименте были исключены однолучевые

события типа $1s + 0g + 0b$ с углом рассеяния $< 5^\circ$ /см. выше/.

Более чувствительной характеристикой ядро-ядерных взаимодействий являются корреляции между множественностями разных типов частиц. Из результатов, представленных на рис. 2, видно, что модель воспроизводит корреляции множественностей в NA -соударениях вполне удовлетворительно. Общий вид корреляций близок к тому, что наблюдается во взаимодействиях адрон-ядро, но при несколько больших энергиях.

Особый интерес вызывают угловые распределения вторичных частиц в ядро-ядерных взаимодействиях. В частности, именно в этих характеристиках ожидается проявление эффектов образования ударной волны в ядерном веществе. На рис. 3 показаны угловые распределения частиц различного типа в NA -столкновениях. Для b - и g -частиц наблюдается хорошее согласие между теорией и экспериментом. Это делает реальными оценки по каскадной модели роли возможных процессов образования ударной волны в высокоэнергетических соударениях тяжелых ядер^{/6/}. Следует при этом отметить, что форма угловых распределений для этих частиц практически совпадает с соответствующими данными для pA -соударений при той же энергии^{/4,5/}.

Расчитанные угловые распределения релятивистских частиц заметно отличаются от экспериментальных. Это расхождение обусловлено тем обстоятельством, что использование "испарительного" приближения для описания распада возбужденного ядра-снаряда является очень грубым подходом в случае легких ядер и, как видно из рис. 2, завышает число фрагментируемых частиц*. Однако это слабо сказывается на средней множественности s -частиц /см. таблицу/.

Таким образом, каскадная модель вполне удовлетворительно воспроизводит общие черты неупругих соударений двух ядер при энергиях в несколько $GэВ$ /нуклон.

* Частицы, испускаемые из ядра-снаряда, в лабораторной системе координат летят под углами, близкими к нулю.

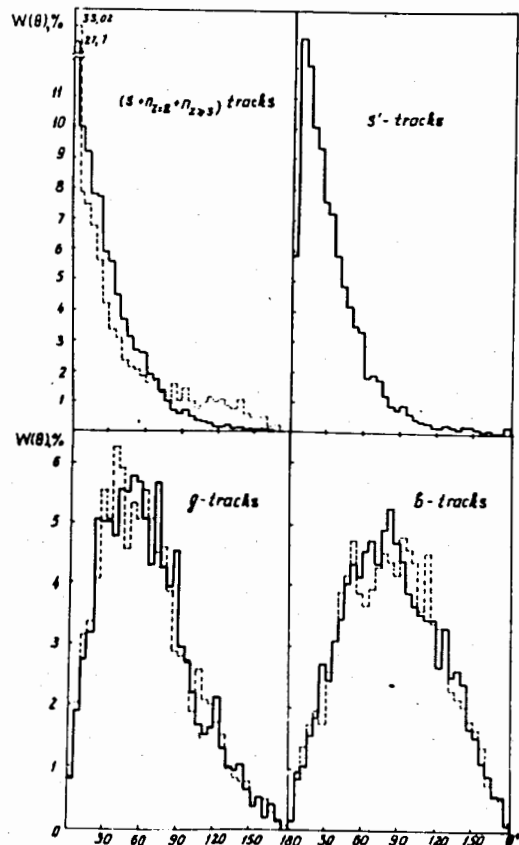


Рис. 3. Угловые распределения вторичных заряженных частиц в NA - соударениях. Пунктир - предсказания каскадной модели.

В заключение нам приятно поблагодарить проф. Х.Хекмана за предоставление эмульсионной стопки, облученной на беватроне в Беркли.

Литература

1. А.М.Балдин и др. Препринт ОИЯИ, P1-5819, Дубна, 1971; А.М.Балдин. Препринт ОИЯИ, E2-9138, Дубна, 1975.

2. H.H.Heckman et al. Phys.Rev.Lett., 28, 926 /1972/;
H.H.Heckman. Preprint LBL-2052, Berkeley, 1973.
3. W.Scheid et al. Phys.Rev.Lett., 32, 741 /1974/;
W.Greiner. Proc. 2nd High Energy Heavy Ion Summer Study, Berkeley, 1974 (LBL-3675), p. 1;
Б.А.Румянцев. Письма ЖЭТФ, 22, 114 /1975/;
А.А.Amsden et al. Phys.Rev.Lett., 35, 905 /1975/;
H.G.Baumgardt et al. Z.Phys., A273, 359 /1975/;
А.М.Poskanzer et al. Phys.Rev.Lett., 35, 1701 /1975/.
4. В.С.Барашенков, В.Д.Тонеев. Взаимодействия высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами, Москва, Атомиздат, 1972, стр. 326-399.
5. M.Bogsanski et al. Helv. Phys.Acta., 42, 485 /1969/.
6. К.К.Gudima and V.D.Toneev. Preprint JINR, E1-9765, Dubna, 1976.