

SU7611056

P1 - 8662

К.Д.Толстов

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УДАР РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР

422

1975

Ранг публикаций Объединенного института ядерных исследований

Препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований /ОИЯИ/ являются самостоятельными публикациями. Они издаются в соответствии со ст. 4 Устава ОИЯИ. Отличие препринтов от сообщений заключается в том, что текст препринта будет впоследствии воспроизведен в каком-либо научном журнале или аperiodическом сборнике.

Индексация

Препринты, сообщения и депонированные публикации ОИЯИ имеют единую нарастающую порядковую нумерацию, составляющую последние 4 цифры индекса.

Первый знак индекса - буквенный - может быть представлен в 3 вариантах:

“Р” - издание на русском языке;

“Е” - издание на английском языке;

“Д” - работа публикуется на русском и английском языках.

Препринты и сообщения, которые рассылаются только в страны-участницы ОИЯИ, буквенных индексов не имеют.

Цифра, следующая за буквенным обозначением, определяет тематическую категорию данной публикации. Перечень тематических категорий изданий ОИЯИ периодически рассылается их получателям.

Индексы, описанные выше, проставляются в правом верхнем углу на обложке и титульном листе каждого издания.

Ссылки

В библиографических ссылках на препринты и сообщения ОИЯИ мы рекомендуем указывать: инициалы и фамилию автора, далее - сокращенное наименование института-издателя, индекс, место и год издания.

Пример библиографической ссылки:

И.И. Иванов. ОИЯИ, P2-4985, Дубна, 1971.

P1 - 8662

К.Д.Толстов

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УДАР РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР

В настоящее время все более возрастает интерес к исследованиям в области релятивистской ядерной физики, начатым в работах^{/1-6/}. В этих исследованиях, несомненно, поднимаются новые принципиальные вопросы и уже получены важные результаты, к которым в первую очередь следует отнести данные о рождении пионов и каонов с энергией, существенно превышающей величину, возможную при взаимодействии отдельных нуклонов сталкивающихся ядер /этот эффект был назван кумулятивным/^{/2,4/}.

Интересное сопоставление приводится в работе^{/7/}: в физике высоких энергий внимание до сих пор концентрировалось на сосредоточении все большей энергии в наименьшем пространстве, т.е. изучении столкновений элементарных частиц, - теперь же следует обратить внимание и на явления, когда высокая энергия сосредоточена в большом объеме. Согласно^{/1/} взаимодействие релятивистских ядер позволит проверить ряд представлений, используемых в теории элементарных частиц, например, ядро может служить "кварковой" моделью релятивистского протяженного объекта.

Целью настоящего сообщения является обсуждение некоторых явлений, которые возможны при центральном соударении релятивистских ядер, и исследование этих соударений с помощью ядерных фотозмульсий. Перспективность этого метода обусловлена тем, что при столкновении релятивистских ядер мы будем иметь дело с очень большим числом генерированных частиц и релятивистскими фрагментами налетающего ядра с близкими углами разлета. Следовательно, необходимо высокое простран-

ственное разрешение, свойственное фотозмульсионному методу. С другой стороны, будем иметь очень большое число частиц от распада ядра мишени с широким спектром по энергии, массам и зарядам, в том числе частиц медленных. Ряд интересных результатов уже получен при использовании этого метода в исследованиях с космическими лучами /8-11/.

Центральный удар

В намеченных исследованиях центральный удар, т.е. столкновение ядер с полным перекрытием их поперечных сечений, очевидно, представляет наибольший интерес.

В экспериментальном отношении первой задачей является выделение из совокупности всех столкновений событий, которые относятся к центральному удару.

Обсуждая возможные эксперименты, остановимся в первую очередь на столкновении ядра кальция с ядром серебра в фотозмульсии. Центральное столкновение должно характеризоваться большим числом рожденных частиц и частиц от распада ядер по сравнению со средними значениями этих величин во всех столкновениях. Однако вследствие флуктуаций в числе вторичных частиц этот критерий не однозначен. С другой стороны, в случае периферических столкновений, т.е. при неполном перекрытии сечений сталкивающихся ядер, незатронутая часть налетающего ядра может сохранить свою энергию и заряд и вылететь в виде одного или нескольких релятивистских фрагментов в направлении, очень близком к направлению первичного пучка. Некоторую иллюстрацию изложенному можно дать на основе результатов по столкновениям α -частиц с импульсом 17 ГэВ/с и ядер фотозмульсии /6/.

Для всех взаимодействий $\langle n_s \rangle = 4,44 \pm 0,07$, $\langle n_h \rangle = 9,68 \pm 0,24$, а для взаимодействий с сохранением двухзарядной релятивистской частицы /т.е. ${}^3\text{He}$ или ${}^4\text{He}$ / $\langle n_s \rangle = 1,24 \pm 0,1$, $\langle n_h \rangle = 4,35 \pm 0,28$. Вторым признаком центрального удара может служить симметрия вылета вторичных частиц влево и вправо по отношению к пучку, т.к. в случае периферического столкновения частицы,

вылетающие в сторону не затронутой столкновением части налетающего ядра, встретят, очевидно, на своем пути меньше нуклонов ядра мишени. Следовательно, в этом направлении мультипликация частиц ожидается менее выраженной, чем в противоположном. Третьим признаком центрального удара при столкновении ядер кальция и серебра может явиться наличие как бы тора из незатронутых непосредственно столкновением нуклонов ядра серебра. Ширина этого тора $\sim 1/3$ радиуса ядра серебра. Можно ожидать, что разлет нуклонов, заключенных в этом торе, будет происходить преимущественно на отдельные нуклоны и с энергетическим спектром, отличным /более мягким/ от спектра частиц из перекрывающихся частей ядер. Если же происходит не центральный удар, то незатронутая часть ядра серебра может сохраниться в виде медленного фрагмента со значительным зарядом. Совокупность описанных критериев: множественность вторичных частиц, симметрия их вылета относительно оси пучка и спектр медленных частиц - позволяет, как можно полагать, выделить центральные столкновения.

Модели взаимодействия

Перейдем к рассмотрению моделей, которые могут иметь место при описании взаимодействия налетающего ядра с частью ядра мишени, находящейся на его пути при центральном ударе. Обсудим три существенно различные модели: каскад парных столкновений налетающих нуклонов с нуклонами ядра мишени; суперпозицию на основе модели ударной волны^{12/} процессов, начинающихся в различных частях сталкивающихся ядер; коллективное взаимодействие нуклонов в ядре, обусловленное большой энергией и плотностью материи в объеме столкновения. В численных оценках примем, что налетающее ядро кальция имеет энергию 10 ГэВ/нуклон , а встречающееся на его пути число нуклонов ядра серебра равно числу нуклонов в ядре кальция - этим мы учитываем неполное совпадение центров сталкивающихся ядер.

Каскадный процесс

Число парных нуклон-нуклонных столкновений будет равно 40. Вследствие сохранения значительной доли энергии у налетающих нуклонов после упругих и неупругих столкновений и равной вероятности перезарядки протона в нейтрон или обратной мы получим ~20 релятивистских протонов. Число заряженных пионов, по данным /13/, в среднем для pp - и pn -соударений равно $2,1 \pm 0,1$. Следовательно, всего будет $20 + 40 \times 2,1 = 104$ релятивистских вторичных частиц.

Среднее число g -протонов /с энергией $30 < E < 40$ МэВ/ в отдельном нуклон-нуклонном столкновении ~0,4. Следовательно, всего будем иметь ~16 g -протонов.

Суперпозиция ударных волн

В работах /12/ предполагается, что в результате неупругого взаимодействия быстрого нуклона с одним из нуклонов ядра рождается кластер адронов, который, пересекая ядро, замедляется, увеличивает свою массу и расширяется. За счет этого в ядре возникает ударная волна. С помощью этой модели в работах /12/ удалось описать ряд экспериментальных фактов. Поэтому предположим, что центральное столкновение ядер вызывает серию ударных волн от нуклон-нуклонных соударений в нескольких точках ядра. Более вероятно, что эти волны не когерентны, т.к. время и место возникновения каждой волны случайно. Следовательно, результирующая интенсивность получится от сложения парциальных интенсивностей. /Отметим, что в работе /15/ авторы, развивая свою модель /12/, для случая столкновения ядер предполагают слияние части кластеров, образованных в отдельных нуклонных столкновениях/.

В первую очередь, нас интересуют величины $\langle n_g \rangle$ и $\langle n_p \rangle$. В сугубо приближенной оценке этих величин используем опытные данные при 10 ГэВ/с из /14/ и зависимость $\langle n_g \rangle$ от n_g при 70 ГэВ/с из /16/. Согласно /14/ в столкновениях протонов с ядрами Ag, Br $\langle n_g \rangle \approx 3,5 \pm 0,3$,

$\langle n_g \rangle = 4,1 \pm 0,5$, а согласно /16/ для ядер Ag, Br график зависимости n_g от n_g дает $n_g = 4$ при $\langle n_g \rangle = 3$. Следовательно, приближенно можно принять при 10 ГэВ/с $\langle n_g \rangle \approx \langle n_g \rangle \approx 3$. С учетом вылета нейтронов $\langle n_g \rangle_{+0} = 3,2, 3,7$. Следовательно, если центральное столкновение вызывает серию ударных волн, то максимальное количество независимых волн n , получаемое делением числа нуклонов в ядре серебра на 7, будет 15. Откуда суммарное число в частиц $n_g < 45$. Заряд серебра - 47, следовательно, число $\langle n_g \rangle < 47$, а число "b" частиц $\langle n_b \rangle < \langle 47 - \langle n_g \rangle \rangle$.

Коллективное взаимодействие

Возможность коллективного взаимодействия обуславливается большой энергией и плотностью ядерной материи в объеме столкновения. Легко показать, что плотность ядерной материи будет близка к удвоенному значению по сравнению с обычной. Действительно, по данным /14/, при столкновении протонов 10 ГэВ/с с ядрами серебра $\langle n_g \rangle = 4,1$; $\langle n_b \rangle = 6,1$; $\langle \beta_g \rangle = 0,45$; $\langle \beta_b \rangle = 0,3$, а составляющие скорости, перпендикулярные к оси пучка, равны $\langle \beta_g \rangle_{\perp} = 0,3$; $\langle \beta_b \rangle_{\perp} = 0,2$. Следовательно, за время сближения ядер от соприкосновения до совпадения их центров только меньшая часть нуклонов ядра мишени может выйти за границы объема налетающего ядра, и поэтому плотность ядерной материи в этом объеме внутри ядра мишени будет близка к удвоенной. Эта плотность может еще увеличиться за счет пионов, рожденных от столкновений нуклонов задней половины налетающего ядра, т.к. они вылетают вперед.

Очевидно, что возможность реализации на опыте удвоенной плотности нуклонов по сравнению с обычной ядерной представляет особый интерес. В этом случае ядерная материя есть как бы один гигантский фэйрбол, несущий большой барионный заряд, который затем распадается на барионы и пионы. Значение γ_c "фэйрбола" совпадает с его величиной для pp-соударения при 10 ГэВ 2,38, а полная энергия в с.ц. $E = 175 \text{ ГэВ}$. Если предпо-

ложить, что число рожденных частиц зависит от свободной энергии /108 ГэВ/ аналогично случаю pp-столкновения, то, экстраполируя результаты на встречных пучках /17/ к этой энергии, получим число рожденных частиц, равное ~20. В лабораторной системе вследствие большой скорости "файрбола" частицы будут вылетать в узком конусе вперед, т.е. будет наблюдаться ливень релятивистских частиц без вылета b-частиц - в противоположность тому, что обычно наблюдается при столкновении адронов с ядрами. Число заряженных бариев в этом ливне будет приблизительно равно атомному весу кальция. Следовательно, общее число s- и g-частиц после распада "файрбола" будет равно ~ 40+..20=60.

Тор из незатронутых столкновением нуклонов ядра мишени с $\langle z \rangle = 25$, как ранее предполагалось, распадется на медленные частицы. В совокупности мы получим коллимированный вперед пучок релятивистских частиц и широкое угловое распределение медленных частиц, в основном протонов. С ростом энергии, приходящейся на один нуклон, у налетающего ядра следует ожидать более сильного проявления обсужденных эффектов.

Некоторые предварительные заключения, возможно, удастся получить и при достижимой в настоящее время величине 5 ГэВ на нуклон на синхрофазотроне ОИЯИ.

В заключение интересно привести некоторые известные данные по экспериментам, выполненным в космических лучах. Сейчас эти разрозненные данные относятся к области небольших зарядов и энергий, приходящихся на нуклон в падающих ядрах, и имеют малую статистическую обеспеченность.

В работе /8/ описано 5 столкновений ядер с зарядом $20 \div 26$ с характеристиками центральных столкновений, т.к. в трех случаях нет релятивистских частиц с зарядом больше единицы, а в двух случаях заряд релятивистских фрагментов равен 3 и 4. Средний заряд налетающих ядер за вычетом заряда релятивистских фрагментов равен 22; $\langle n_s \rangle = 54$; $\langle n_g \rangle = 13$; $\langle n_b \rangle = 12$. Интересные результаты получены в работе /11/. Для группы взаимодействий, в которой средний заряд первичных ядер $\langle z \rangle = 17,7$; средний заряд фрагментов налетающего ядра $\langle z_{fr} \rangle = 1,6$;

происходит полное разрушение ядра мишени, т.е. $n_b \geq 28$, получено: $\langle n_s \rangle = 30,3$; $\langle n_g \rangle = 40$; $\langle n_b \rangle = 17,7$; $\langle \theta_s \rangle = 29$.

Для взаимодействий, вызванных ядрами с $z > 12$ со средней энергией на нуклон $2,4 \text{ ГэВ}$ наблюдается хорошо выраженный пик вперед g -протонов, что не имеет места в протон-ядерных столкновениях, а энергетический спектр этих протонов спадает более медленно по сравнению со спектром в протон-ядерных столкновениях. Далее авторы делают вывод, что взаимодействия с большой множественностью пионов не могут быть аппроксимированы суперпозицией независимых нуклон-нуклонных или нуклон-ядерных столкновений. В таблице приведены ранее сделанные оценки для различных моделей взаимодействия и цитированные выше экспериментальные данные.

Таблица

	$\langle n_s \rangle$	$\langle n_g \rangle$	$\langle n_b \rangle$	$\langle \theta_s \rangle$	$\langle \theta_g \rangle$
Каскад нуклон-нуклонных столкновений	100	16	30	-	60°
Суперпозиция ударных волн	<45	<47	$<(47 - \langle n_g \rangle)$	-	$60^{12/}$
Коллективные взаимодействия			20	20	$\ll 60$
5 взаимодействий					
$\langle z \rangle = 22/8/$	54	13	12	-	55
$\langle z \rangle = 17,7/11/$					
$n_b \geq 28$	40	18	17	29	-

Литература

1. А.М.Балдин. Сообщение ОИЯИ, P7-5808, Дубна, 1971.
2. А.М.Балдин. Сообщение ОИЯИ, P1-5819, Дубна, 1971.
3. D.A.Galsteau et al. Nucl.Phys., A208, 626 /1973/.
4. H.H.Heckman. High Energy Phys. and Nuclear Struc-

ture. North Holland Pub., HO, 1974, Amsterdam-London.

5. А.М.Балдин и др. Сообщение ОИЯИ, 1-8249, Дубна, 1974.
6. К.Д.Толстов и др. Сообщение ОИЯИ, P1-8313, Дубна, 1974.
7. T.D.Lee. *Abnormal Nuclear States and Vacuum Excitation*. CO-2271-27, New-York, 1974.
8. B.Anderesson, J.Otterlund, K.Kristiansson. *Arkiv for Fysik*, 31, 527 /1966/.
9. Ю.Ф.Газарин, Н.С.Иванов, В.Н.Куликов. *ЯФ*, 11, 1255 /1970/.
10. B.Jakobsson, R.Kullberg, J.Otterlund. *Z.Physic*, 268, 1 /1974/.
11. B.Jakobsson, R.Kullberg, J.Otterlund. *LUJP-CR-74-14*, /1974/.
12. Б.Н.Калинкин, В.Л.Шмонин. *Сообщения ОИЯИ*, P2-7869; P2-7870; P2-7871, Дубна, 1974.
13. Н.П.Богачев, Е.Л.Григорьев, Ю.П.Мереков. *ДАН*, 148, 793 /1963/.
14. V.S.Varashenkov, V.A.Belyakov et al. *Nucl.Phys.*, 14, 522 /1959/60/.
15. Б.Н.Калинкин, В.Л.Шмонин. *Препринт ОИЯИ*, 8309, стр. 24, Дубна, 1974.
16. K.M.Abdo et al. *Prepr. JINR*, E1-8021, Dubna, 1974.
17. M.Antinucci et al. *L.N.C.*, 6, 121 /1973/.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 марта 1975 года.

Нет ли пробелов в Вашей библиотеке?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

- 16-4888 Дозиметрия излучений и физика защиты ускорителей заряженных частиц. Дубна, 1969. 250 стр. 2 р. 64 к.
- Д-6004 Бинарные реакции адронов при высоких энергиях. Дубна, 1971. 768 стр. 7 р. 60 к.
- Д13-6210 Труды VI Международного симпозиума по ядерной электронике. Варшава, 1971. 372 стр. 3 р. 67 к.
- Д10-6142 Труды Международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. Дубна, 1971. 564 стр. 6 р. 14 к.
- Д-6465 Международная школа по структуре ядра. Алушта, 1972. 525 стр. 5 р. 85 к.
- Д-6840 Материалы II Международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц. Штрбске Плесо, ЧССР, 1972. 398 стр. 3 р. 96 к.
- Д2-7161 Локальные, нелинейные и ненормируемые теории поля. Алушта, 1973. 280 стр. 2 р. 75 к.
- Глубоконеупругие и множественные процессы. Дубна, 1973. 507 стр. 5 р. 66 к.
- Р1,2-7642 Международная школа молодых ученых по физике высоких энергий. Гомель, 1973. 623 стр. 7 р. 15 к.
- Д13-7616 Труды VII Международного симпозиума по ядерной электронике. Будапешт, 1973. 372 стр. 3 р. 65 к.

- Д10-7707** Советские по программированию и 564 стр. 5 р. 57 к.
математическим методам решения
физических задач. Дубна, 1973.
- 13 - 7154** Пропорциональные камеры. Дубна. 173 стр. 2 р. 20 к.
1973.
- Д1,2-7781** Материалы III Международного сим- 478 стр. 4 р. 78 к.
позиума по физике высоких энергий
и элементарных частиц. Сивая, 1973.
- ДЗ-7991** II Международная школа по нейт- 552 стр. 2 р. 50 к.
ронной физике. Алушта, 1974.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79,
издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Условия обмена

Препринты и сообщения ОИЯИ рассылаются бесплатно, на основе взаимного обмена, университетам, институтам, лабораториям, библиотекам, научным группам и отдельным ученым более 50 стран.

Мы ожидаем, что получатели изданий ОИЯИ будут сами проявлять инициативу в бесплатной посылке публикаций в Дубну. В порядке обмена принимаются научные книги, журналы, препринты и иного вида публикации по тематике ОИЯИ.

Единственный вид публикаций, который нам присылать не следует, - это репринты /оттиски статей, уже опубликованных в научных журналах/.

В ряде случаев мы сами обращаемся к получателям наших изданий с просьбой бесплатно прислать нам какие-либо книги или выписать для нашей библиотеки научные журналы, издающиеся в их странах.

Отдельные запросы

Издательский отдел ежегодно выполняет около 3 000 отдельных запросов на высылку препринтов и сообщений ОИЯИ. В таких запросах следует обязательно указывать индекс запрашиваемого издания.

Адреса

Письма по всем вопросам обмена публикациями, а также запросы на отдельные издания следует направлять по адресу:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Издательский отдел
Объединенного института
ядерных исследований.*

Адрес для посылки всех публикаций в порядке обмена, а также для бесплатной подписки на научные журналы:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Научно-техническая библиотека
Объединенного института
ядерных исследований.*



Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 19407. Тираж 600. Уч.-изд. листов 0,53.
Редактор Н.Н.Зрелова. Подписано к печати 4,04.75.