

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

С34302

A-725

23/10-79

P1 - 12111

1532/2-79

В.А.Антончик, В.А.Бакаев, В.Г.Богданов,
С.Д.Богданов, Б.В.Губинский, А.Марин, М.Марку,
В.И.Остроумов, Н.А.Перфилов, Г.Д.Пестова,
В.А.Плющев, З.И.Соловьева, К.Д.Толстов, М.Хайдук

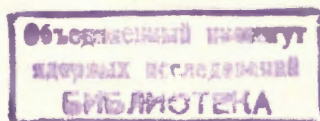
ЭНЕРГИЯ БЫСТРЫХ ЧАСТИЦ
ПРИ РАСЩЕПЛЕНИИ ЯДЕР ФОТОЭМУЛЬСИИ
РЕЛЯТИВИСТСКИМИ ЯДРАМИ УГЛЕРОДА

1979

P1 - 12111

В.А.Антончик,¹ В.А.Бакаев,¹ В.Г.Богданов,²
С.Д.Богданов,¹ Б.В.Губинский,¹ А.Марин,³ М.Марку,³
В.И.Остроумов,¹ Н.А.Перфилов,² Г.Д.Пестова,
В.А.Плюшев,² З.И.Соловьева,² К.Д.Толстов, М.Хайдук³

ЭНЕРГИЯ БЫСТРЫХ ЧАСТИЦ
ПРИ РАСЩЕПЛЕНИИ ЯДЕР ФОТОЭМУЛЬСИИ
РЕЛЯТИВИСТСКИМИ ЯДРАМИ УГЛЕРОДА



¹ Ленинградский политехнический институт
им. М.И.Калинина.

² Радиевый институт им. В.Г.Хлопина, Ленинград.

³ Центральный институт физики, Бухарест.

Энергия быстрых частиц при расщеплении
ядер фотоэмульсии релятивистскими ядрами углерода

Приводятся результаты исследований энергетических спектров γ -частиц, полученных во взаимодействии релятивистских ядер углерода с импульсом 54 ГэВ/с с ядрами фотоэмульсии. Показано, что средняя энергия протонов, испущенных на быстрой стадии процесса, растет при увеличении массы налетающей частицы. Обнаружено, что с уменьшением параметра удара сталкивающихся ядер спектр быстрых протонов имеет тенденцию к ужесточению, увеличивается также энергия β -частиц. Отмечается, что наблюдаемые особенности энергетических распределений γ -частиц трудно объяснить в рамках обычной суперпозиционной модели. В пределах статистики полученные результаты могут служить указанием на появление эффектов коллективного взаимодействия нуклонов сталкивающихся ядер.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Energy of Fast Particles at the Splitting of
Photoemulsion Nuclei by C Relativistic Nuclei

The data on the energy distributions of γ -particles produced in the interaction of ^{12}C relativistic nuclei at 54 GeV/c with nuclear emulsion is presented. It is shown that the average energy of protons emitted at a fast stage of the process increases with increasing the incident particle mass. It was found that the decrease of the impact parameter of interacting nuclei makes the spectrum of fast protons harder. The energy of β -particles increases as well. It is noted that the obtained peculiarities of the γ -particle energy distributions are difficult to explain within the framework of the usual superpositional model. Within the statistics, the obtained data can point to the appearance of the effects of collective nucleon collisions of interacting nuclei.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Исследование особенностей ядерно-ядерных взаимодействий при высоких энергиях является одной из актуальных задач современной ядерной физики. Экспериментальные и теоретические указания на проявление коллективных свойств ядерной материи при взаимодействии сложных составных систем¹⁻⁴ требуют информации об энергетических спектрах быстрых частиц, образующихся на первой /быстрой/ стадии взаимодействия двух ядер.

В настоящей работе проведено экспериментальное исследование энергетических распределений так называемых γ -частиц, к которым относятся протоны с энергией в диапазоне $26 \leq E_p \leq 400 \text{ МэВ}$. Было проанализировано 402 неупругих взаимодействия ядер углерода с импульсом 54 ГэВ/с с ядрами фотоэмульсии. Условия эксперимента, методики просмотра и первичной обработки расщеплений были изложены ранее⁵⁻⁷. Определение заряда и измерение энергии γ -частиц проводились на следах, имеющих угол наклона менее 30° в непроявленной эмульсии, при этом все однозарядные частицы считались протонами. Идентификация останавливающихся частиц основывалась на измерении соотношения между удельными ионизационными потерями и остаточным пробегом. В треках частиц, выходящих из камеры, определялось изменение ионизационных потерь на видимом пробеге. Параметрами ионизационных потерь служили плотность зерен, плотность разрывов, спектр сгустков и общая длина сгустков. Зависимость этих параметров от ионизационных потерь устанавливалась посредством калибровочных измерений на следах релятивистских ядер Н, He, Li, Be, B, C и треках остановившихся и испытывавших распад π^+ -мезонов. При идентификации учитывался угол и глубина погружения измеряемого трека. На следы с углом наклона более 30° вводилась геометрическая поправка.

Энергия быстрых частиц при расщеплении
ядер фотоэмульсии релятивистскими ядрами углерода

Приводятся результаты исследований энергетических спектров γ -частиц, полученных во взаимодействии релятивистских ядер углерода с импульсом 54 ГэВ/с с ядрами фотоэмульсии. Показано, что средняя энергия протонов, испущенных на быстрой стадии процесса, растет при увеличении массы налетающей частицы. Обнаружено, что с уменьшением параметра удара сталкивающихся ядер спектр быстрых протонов имеет тенденцию к ужесточению, увеличивается также энергия β -частиц. Отмечается, что наблюдаемые особенности энергетических распределений γ -частиц трудно объяснить в рамках обычной суперпозиционной модели. В пределах статистики полученные результаты могут служить указанием на появление эффектов коллективного взаимодействия нуклонов сталкивающихся ядер.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Energy of Fast Particles at the Splitting of
Photoemulsion Nuclei by C Relativistic Nuclei

The data on the energy distributions of γ -particles produced in the interaction of ^{12}C relativistic nuclei at 54 GeV/c with nuclear emulsion is presented. It is shown that the average energy of protons emitted at a fast stage of the process increases with increasing the incident particle mass. It was found that the decrease of the impact parameter of interacting nuclei makes the spectrum of fast protons harder. The energy of β -particles increases as well. It is noted that the obtained peculiarities of the γ -particle energy distributions are difficult to explain within the framework of the usual superpositional model. Within the statistics, the obtained data can point to the appearance of the effects of collective nucleon collisions of interacting nuclei.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Исследование особенностей ядерно-ядерных взаимодействий при высоких энергиях является одной из актуальных задач современной ядерной физики. Экспериментальные и теоретические указания на проявление коллективных свойств ядерной материи при взаимодействии сложных составных систем^{1-4/} требуют информации об энергетических спектрах быстрых частиц, образующихся на первой /быстрой/ стадии взаимодействия двух ядер.

В настоящей работе проведено экспериментальное исследование энергетических распределений так называемых γ -частиц, к которым относятся протоны с энергией в диапазоне $26 \leq E_p \leq 400 \text{ МэВ}$. Было проанализировано 402 неупругих взаимодействия ядер углерода с импульсом 54 ГэВ/с с ядрами фотоэмульсии. Условия эксперимента, методики просмотра и первичной обработки расщеплений были изложены ранее^{5-7/}. Определение заряда и измеренные энергии γ -частиц проводились на следах, имеющих угол наклона менее 30° в непроявленной эмульсии, при этом все однозарядные частицы считались протонами. Идентификация останавливающихся частиц основывалась на измерении соотношения между удельными ионизационными потерями и остаточным пробегом. В треках частиц, выходящих из камеры, определялось изменение ионизационных потерь на видимом пробеге. Параметрами ионизационных потерь служили плотность зерен, плотность разрывов, спектр сгустков и общая длина сгустков. Зависимость этих параметров от ионизационных потерь устанавливалась посредством калибровочных измерений на следах релятивистских ядер Н, He, Li, Be, В, С и треках остановившихся и испытавших распад π^+ -мезонов. При идентификации учитывался угол и глубина погружения измеряемого трека. На следы с углом наклона более 30° вводилась геометрическая поправка.

Все звезды разбивались на два класса в зависимости от типа ядра мишени. К первому классу относились звезды с числом черных и серых лучей, меньшим или равным шести ($N_h \leq 6$). Это были Л-события - взаимодействия на легких ядрах С, N, O фотозумльсии и события на тяжелых ядрах Ag, Вг с малым возбуждением ядер. Во второй класс вошли звезды с $N_h > 6$ / Т-события/ - взаимодействия только на тяжелых ядрах. Для оценки влияния параметра удара сталкивающихся ядер на характеристики взаимодействий все Т-события подразделялись на события с малым параметром столкновения, характеризующиеся почти полным разрушением ядер / Т** - события, $N_h \geq 28$ /, и взаимодействия с большим параметром удара / Т* - события, $6 < N_h < 28$ /.

Экспериментальные характеристики протонов с энергией в диапазоне 26-400 МэВ приведены в таблице и на рис. 1-3. В таблице также представлены средние энергии g-протонов, полученные при исследовании взаимодействий релятивистских протонов с энергией 9 ГэВ с ядрами фотозумльсии /8/.

Таблица

Экспериментальные характеристики протонов с энергией в диапазоне 26-400 МэВ

Взаимодействие	$\langle E_p \rangle$	$\langle E_p \rangle$ передняя полусфера	$\langle E_p \rangle$ задняя полусфера
$C^{12} + Л$	179 \pm 8	192 \pm 9	124 \pm 17
$C^{12} + Т$	139 \pm 2	149 \pm 3	110 \pm 3
$C^{12} + Т^*$	132 \pm 4	144 \pm 5	107 \pm 7
$C^{12} + Т^{**}$	148 \pm 3	155 \pm 4	115 \pm 6
$C^{12} + ЭМ$	143 \pm 2	153 \pm 3	110 \pm 3
$P + Л$	132 \pm 20	-	-
$P + Т$	118 \pm 12	-	-
$P + ЭМ$	120 \pm 12	-	-

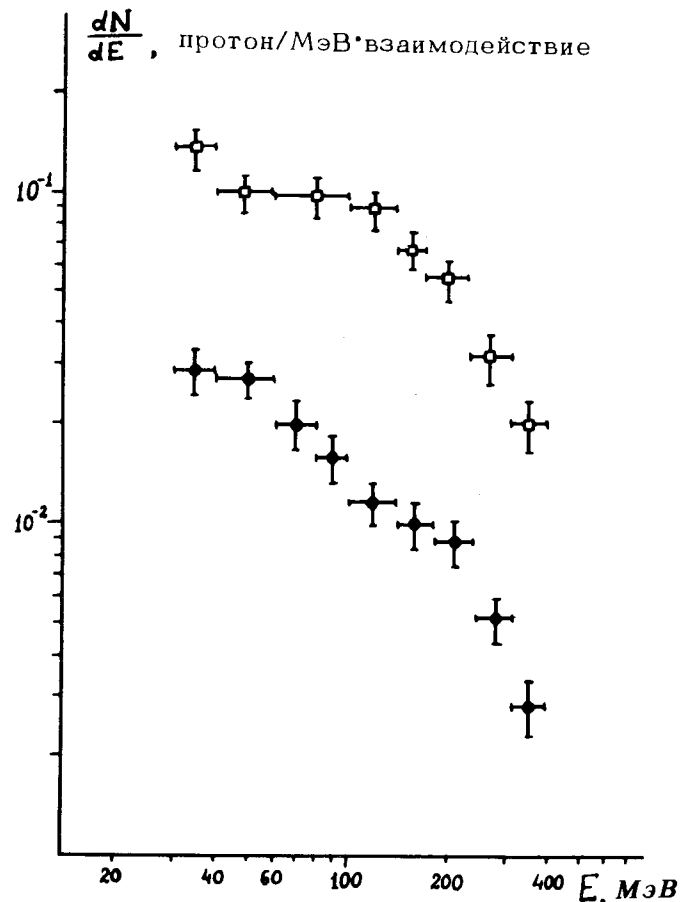


Рис.1. Энергетическое распределение протонов с энергией в диапазоне 30-400 МэВ.

□ - взаимодействия с $N_h < 28$,
● - взаимодействия с $N_h \geq 28$.

Из сопоставления приведенных в таблице данных можно сделать вывод о росте средней энергии протонов, испущенных на быстрой стадии процесса, при увеличении массы налетающей частицы. Эта закономерность наблюдается как для Л- и Т-событий в отдельности, так и для всей совокупности звезд.

Особое внимание привлекает закономерность изменения E при изменении параметра удара сталкивающихся ядер.

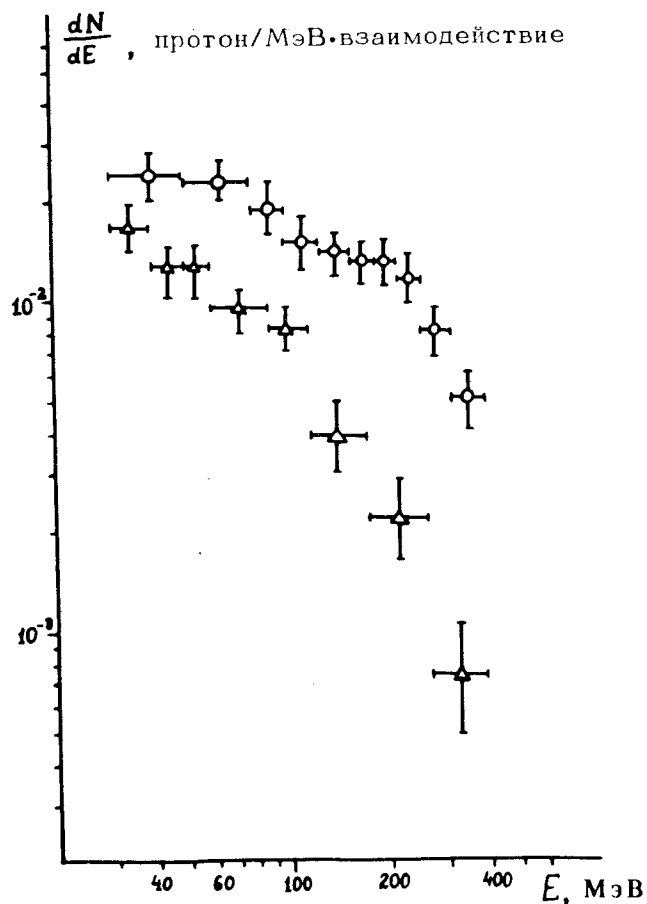


Рис.2. Энергетическое распределение протонов в диапазоне 30-400 МэВ, испущенных: o - в переднюю полусферу /0-90°, Δ - в заднюю полусферу /90-180°/.

Из таблицы видно, что с уменьшением параметра удара /при переходе от T^+ -событий к T^{++} / спектр быстрых протонов имеет тенденцию к ужесточению. Аналогичное возрастание средней энергии вторичных частиц при уменьшении параметра удара взаимодействия наблюдалось ранее в нерелятивистской области энергий налетающих ядер⁹. При релятивистских взаимодействиях обсуждаемая тенденция проявилась впервые.

Исследование зависимости энергетических спектров g -частиц от числа сильноионизирующих лучей в расщеплениях, вызванных частицами меньшей массы /дейтроны с импульсом 10 ГэВ/с/¹⁰ обнаружило уменьшение средней энергии быстрых протонов при увеличении степени разрушения тяжелых ядер эмульсии.

Во взаимодействиях, вызванных ядрами углерода с импульсом 4,5 ГэВ/с на нуклон, проявляются и другие качественно новые закономерности. Наблюдается не только тенденция к ужесточению энергетического спектра "g-протонов", но и увеличение энергии b -частиц¹⁶.

При уменьшении параметра столкновения двух ядер существенно изменяется отношение числа серых лучей к числу черных в одном взаимодействии. Так, в T^+ -событиях указанное отношение составило $1,2 \pm 0,1$, а в T^{++} - $2,0 \pm 0,1$ /в протон-ядерных взаимодействиях оно составляет лишь около 0,7/. Эти результаты свидетельствуют о сильном возрастании средней энергии частиц, испускаемых из ядер мишени. Последнее означает, что суммарная /полная/ энергия всех вторичных сильноионизирующих частиц в релятивистских ядерно-ядерных взаимодействиях растет быстрее, чем полное число этих частиц N_h , т.е.

$$\sum_{i=1}^{N_h} E_i = N_h^a, \quad a > 1.$$

Таким образом, при увеличении массы налетающего снаряда от протона до углерода в энергетике вторичных частиц проявляется ряд особенностей, которые трудно объяснить в рамках обычной суперпозиционной модели. Действительно, при уменьшении параметра удара растет число элементарных нуклон-нуклонных взаимодействий и, как следствие, увеличивается диссипация вносимой энергии; оставаясь в рамках суперпозиционной модели, можно поэтому ожидать смягчения энергетического спектра, что противоречит экспериментальным наблюдениям.

Из рис. 1, 2, 3а и таблицы следует, что средние энергии E и множественности частиц, испущенных в переднюю полусферу, оказываются несколько выше, чем частиц, испущенных назад.

В последнее время был предложен ряд простых моделей развития ядерной ударной волны^{13,4} при взаимодей-

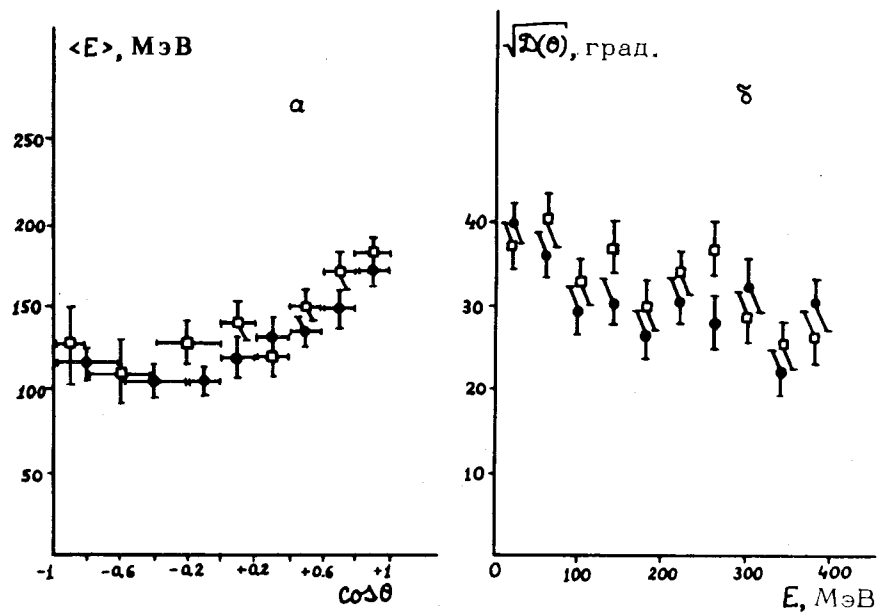


Рис.3. а/ Зависимость средней энергии g -протонов от угла испускания. \square - взаимодействия с $N_h \geq 28$, \bullet - взаимодействия с $N_h \geq 28$.

б/ Зависимость квадратного корня из дисперсии углового распределения g -частиц от их энергии. \square - взаимодействия с $N_h \geq 28$, \bullet - взаимодействия с $N_h \geq 28$.

вии релятивистских ядер. Общим предсказанием этих моделей является преимущественное испускание нуклонов в направлении, перпендикулярном поверхности конуса Маха со скоростью, близкой к скорости ударной волны. При этом влияние фермиевского движения внутриядерных нуклонов на возможный эффект ударной волны /т.е. появление группы частиц, имеющих одинаковое направление и скорость/ должно быть относительно малым ($\sim 20\%$)^{3/}. Из приведенной на рис. 3а зависимости средней энергии "g-протонов" от угла их эмиссии видно, что $\langle E \rangle$ плавно уменьшается с ростом угла испускания как для всей совокупности звезд, так и для случая полного разрушения тяжелых ядер эмульсии. Как уже отмечалось выше, характерным свойством частиц, связанных с ударной волной, является их большая коллимация в определенном

направлении, зависящем от скорости налетающего ядра и параметров распространения этой волны в ядерном веществе. Степень коллимации или изотропности частиц весьма удобно оценивать дисперсией их углового распределения. Приведенная на рис. 3б зависимость дисперсии углового распределения быстрых частиц от их энергии показывает на медленный спад "размытости" угловых распределений при увеличении энергии "g-протонов".

Таким образом, в пределах статистики полученные результаты не обнаруживают заметной роли простого механизма ударной волны в исследуемых взаимодействиях. Ряд особенностей в энергетических распределениях вторичных частиц указывает на появление эффектов коллективного взаимодействия нуклонов сталкивающихся ядер.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность руководству ЛВЭ ОИЯИ и персоналу синхрофазотрона за проведение облучения эмульсионных стопок. Авторы признательны С.А.Любомиллову за обработку фотоэмульсии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baumgard H.G. et al. *Z.Physik*, 1975, A273, p. 359.
2. Толстов К.Д. ОИЯИ, Р1-8662, Дубна, 1975.
3. Румянцев Б.А. Письма в ЖЭТФ, 1975, 22, с. 114.
4. Amsden A.A. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1975, 35, p. 905.
5. Adamovich M.I. et al. *JINR*, E1-10838, Dubna, 1977.
6. Карабова М. и др. ЯФ, 1978, 28, с. 435.
7. Антончик В.А. и др. Реферативный журнал Физика. 1978, 9, 9В, с. 431.
8. Барашенков В.С. и др. ОИЯИ, Р-331, Дубна, 1959.
9. Богданов С.Д., Остроумов В.И. АН СССР. Сер.физ. 1976, 40, с. 965.
10. Богданов В.Г. и др. Препринт Радиевого института имени В.Г.Хлопина, РИ-92, Л., 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 декабря 1978 года.