

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

96-447

P1-96-447

А.И.Бондаренко, Р.А.Бондаренко, Е.Н.Кладницкая

ИЗУЧЕНИЕ ЯДРО-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
С ПОЛНЫМ РАЗРУШЕНИЕМ ЯДРА-МИШЕНИ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГэВ/с НА НУКЛОН

Направлено в журнал «Ядерная физика»

1996

1. ВВЕДЕНИЕ

Процесс полного разрушения ядра-мишени (ПРМ) во взаимодействиях адронов и ядер с ядрами давно привлекает к себе внимание как экспериментаторов [1—11], так и теоретиков [12—14]. Интерес к этому классу соударений обусловлен желанием выявить особенности событий с ПРМ по сравнению со всеми неупругими взаимодействиями, понять механизм адрон(ядро)-ядерного взаимодействия, приводящий к полному разрушению ядра-мишени.

Большинство работ по этой тематике посвящено изучению процессов полного разрушения тяжелых ядер фотоэмульсии Ag и Br при взаимодействии с ними протонов в широком интервале энергий (вплоть до 400 ГэВ) [1,2,4,5] и ядер от дейтрона до серы (до 200 АГэВ) [3,4,6—8].

К числу наиболее интересных результатов этих работ можно отнести независимость доли (W) событий с ПРМ от энергии снаряда в $pAgBr$ -взаимодвижениях: $W \approx 3\%$ в интервале первичных энергий 10+400 ГэВ [1,2,5]. Вместе с тем W быстро растет с увеличением атомного номера ядра-снаряда в ядро- $AgBr$ -соударениях, например при энергии 3,7 ГэВ/нуклон W возрастает от 0,5% для $pAgBr$ до 24% для $SiAgBr$ -взаимодвижений [2,6—8]. Однако, с увеличением энергии первичного ядра этот рост замедляется: при энергии 13,7 ГэВ/нуклон W для $SiAgBr$ -соударений составляет только 13% [8] и продолжает убывать с ростом энергии снаряда. При 200 ГэВ/нуклон для близкого по массе к Si ядра серы $W = 10 \pm 2\%$ [8].

Настоящая работа посвящена изучению общих характеристик событий с полным разрушением легкого ядра-мишени (^{12}C) под действием протонов, дейтронов, α -частиц и ядер углерода с импульсом 4,2 АГэВ/с, а также систематическому их сравнению с данными для неупругих ядро-ядерных взаимодействий. Подобные работы, число которых очень невелико (см., например, [9—11]), были посвящены изучению процесса полного разрушения легкого ядра-мишени лишь под действием адронов.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Наборы данных, рассматриваемые в настоящей работе, получены с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры. Они включают в себя информацию о типах вторичных частиц и их кинематических характеристиках и позволяют провести исследование ядро-ядерных соударений с ПРМ

в том объеме, в котором ранее оно не проводилось. Методические вопросы эксперимента, касающиеся отбора взаимодействий на ядре углерода из всех событий в пропане, а также идентификации частиц и введения геометрических поправок на потери частиц, испущенных под большими углами к плоскости фотографирования, рассмотрены в [15,16].

Напомним лишь, что в пропановой пузырьковой камере протоны надежно идентифицируются по ионизации и пробегу в интервале импульсов 0,15+0,5 ГэВ/с. Протоны с $p_{\text{лаб}} < 0,15$ ГэВ/с имеют пробег менее 2 мм и в большинстве своем не видны на снимке. На все положительные частицы с импульсом выше 0,5 ГэВ/с введены веса, определяющие вероятность того, что данная частица является протоном или π^+ -мезоном. При определении весов использовались характеристики π^- -мезонов [15].

В соответствии со сложившимися представлениями о механизме ядро-ядерного взаимодействия [16] все вторичные протоны были разделены на:

1. испарительные из ядра-мишени — протоны с импульсом $p < 0,3$ ГэВ/с;
2. стриппинговые фрагменты ядра-снаряда — положительные частицы с импульсом более 3 ГэВ/с и углом вылета менее 4° ;
3. протоны-участники — все остальные протоны.

Все отрицательные частицы, кроме идентифицированных электронов, считались π^- -мезонами.

События с ПРМ отбирались из полных ансамблей неупругих pC -, dC -, αC - и CC -взаимодвижений по признаку наличия в них 5 и более протонов с импульсом $p < 0,75$ ГэВ/с. Используемый критерий отбора обусловлен тем, что протоны с импульсом менее 0,75 ГэВ/с в основном являются фрагментами ядра-мишени (вероятность того, что протон из снаряда потеряет более 90% своей энергии в легком ядре углерода, мала).

Выбранные нами критерии позволяют выделить такие ядро-ядерные взаимодействия, в которых мишень фрагментирует только на однозарядные фрагменты.

3. ВЕРОЯТНОСТИ СОБЫТИЙ С ПОЛНЫМ РАЗРУШЕНИЕМ ЯДРА-МИШЕНИ. МНОЖЕСТВЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

Значения вероятностей W появления событий с ПРМ в изучаемых типах взаимодействий приведены в табл.1.

Видно, что эти вероятности малы, т.е. полное разрушение ядра углерода довольно редкое явление, особенно под действием протонов и дейтронов. С увеличением атомного номера ядра-снаряда значения W возрастают.

Средние множественности вторичных частиц из pC -, dC -, αC - и CC -взаимодвижений с полным разрушением ядра-мишени приведены в табл.2. Для сравнения там же представлены аналогичные характеристики для соответствующей

щих неупругих соударений. Величины $\langle v_N \rangle$, приведенные в табл.2, характеризуют среднее число нуклонов из ядра-снаряда, участвующих во взаимодействии с ядром углерода:

$$\langle v_N \rangle = 2(Q_{A_p} - \langle Q_{str} \rangle),$$

где Q_{A_p} — заряд ядра-снаряда, $\langle Q_{str} \rangle$ — средний заряд, уносимый стриппинговыми фрагментами.

Из приведенных данных видно, что события с ПРМ характеризуются существенно большей множественностью всех вторичных заряженных частиц, кроме фрагментов мишени с $p < 0,15$ ГэВ/с и фрагментов ядер-снарядов.

Таблица 1. Статистика событий и вероятности полного разрушения мишени

	Взаимодействия			
	pC	dC	αC	CC
$N_{\text{собр}}^{\text{ин}}$	5283	6733	4852	7326
$N_{\text{собр}}^{\text{ПРМ}}, n_p \geq 5$	128	189	182	285
$0,15 \leq p_p < 0,75$ ГэВ/с				
W, %	$2,42 \pm 0,21$	$2,81 \pm 0,20$	$3,75 \pm 0,28$	$3,85 \pm 0,23$

Таблица 2. Характеристики распределений по множественности AC-событий с ПРМ (числитель) и всех неупругих (знаменатель)

Характеристика	Взаимодействия			
	pC	dC	αC	CC
$\langle n_{\pm} \rangle$	$\frac{7,79 \pm 0,14}{3,32 \pm 0,02}$	$\frac{8,67 \pm 0,14}{4,48 \pm 0,02}$	$\frac{11,2 \pm 0,2}{6,61 \pm 0,03}$	$\frac{15,0 \pm 0,3}{9,88 \pm 0,03}$
$\langle n_{\pi^-} \rangle$	$\frac{0,86 \pm 0,07}{0,38 \pm 0,01}$	$\frac{1,07 \pm 0,06}{0,69 \pm 0,01}$	$\frac{1,80 \pm 0,08}{1,03 \pm 0,01}$	$\frac{2,18 \pm 0,09}{1,39 \pm 0,01}$
$\langle n_p^{Y^+} \rangle$	$\frac{3,25 \pm 0,13}{1,72 \pm 0,01}$	$\frac{3,67 \pm 0,12}{1,97 \pm 0,01}$	$\frac{5,11 \pm 0,13}{2,96 \pm 0,02}$	$\frac{6,75 \pm 0,17}{4,26 \pm 0,02}$
$\langle n_p \rangle, p_p < 0,15$, ГэВ/с	$\frac{0,93 \pm 0,09}{4,44 \pm 0,02}$	$\frac{0,47 \pm 0,09}{3,91 \pm 0,02}$	$\frac{0,33 \pm 0,09}{3,35 \pm 0,02}$	$\frac{0,28 \pm 0,12}{3,13 \pm 0,02}$
$\langle n_p \rangle, 0,15 \leq p_p < 0,3$, ГэВ/с	$\frac{2,73 \pm 0,12}{0,56 \pm 0,01}$	$\frac{2,59 \pm 0,10}{0,66 \pm 0,01}$	$\frac{2,31 \pm 0,09}{0,74 \pm 0,01}$	$\frac{2,11 \pm 0,08}{0,67 \pm 0,01}$
$\langle n_p \rangle, 0,3 \leq p_p < 0,75$, ГэВ/с	$\frac{2,55 \pm 0,11}{0,65 \pm 0,01}$	$\frac{2,72 \pm 0,09}{0,79 \pm 0,01}$	$\frac{3,03 \pm 0,09}{0,97 \pm 0,01}$	$\frac{3,20 \pm 0,08}{1,07 \pm 0,01}$
$\langle n_p \rangle, p_p \geq 0,75$, ГэВ/с	$\frac{0,62 \pm 0,05}{0,85 \pm 0,01}$	$\frac{0,82 \pm 0,06}{1,02 \pm 0,01}$	$\frac{1,88 \pm 0,09}{1,74 \pm 0,01}$	$\frac{3,05 \pm 0,12}{2,83 \pm 0,02}$
$\langle v_N \rangle$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,61 \pm 0,06}{1,40 \pm 0,01}$	$\frac{2,98 \pm 0,08}{2,40 \pm 0,02}$	$\frac{6,12 \pm 0,14}{4,32 \pm 0,03}$

Как уже отмечалось выше, ядерные фрагменты с пробегом менее 2 мм в пропановой камере не видны и поэтому не регистрируются. Оценить среднее число незарегистрированных протонов можно по среднему недостающему заряду:

$$\langle Q \rangle = Q_{A_p} + Q_{A_T} - (\langle Q \rangle^+ - \langle Q \rangle^-),$$

где Q_{A_T} — заряд ядра-мишени, $\langle Q \rangle^+$ — средний заряд всех вторичных положительных частиц, включая стриппинговые, $\langle Q \rangle^-$ — средний заряд всех отрицательных частиц.

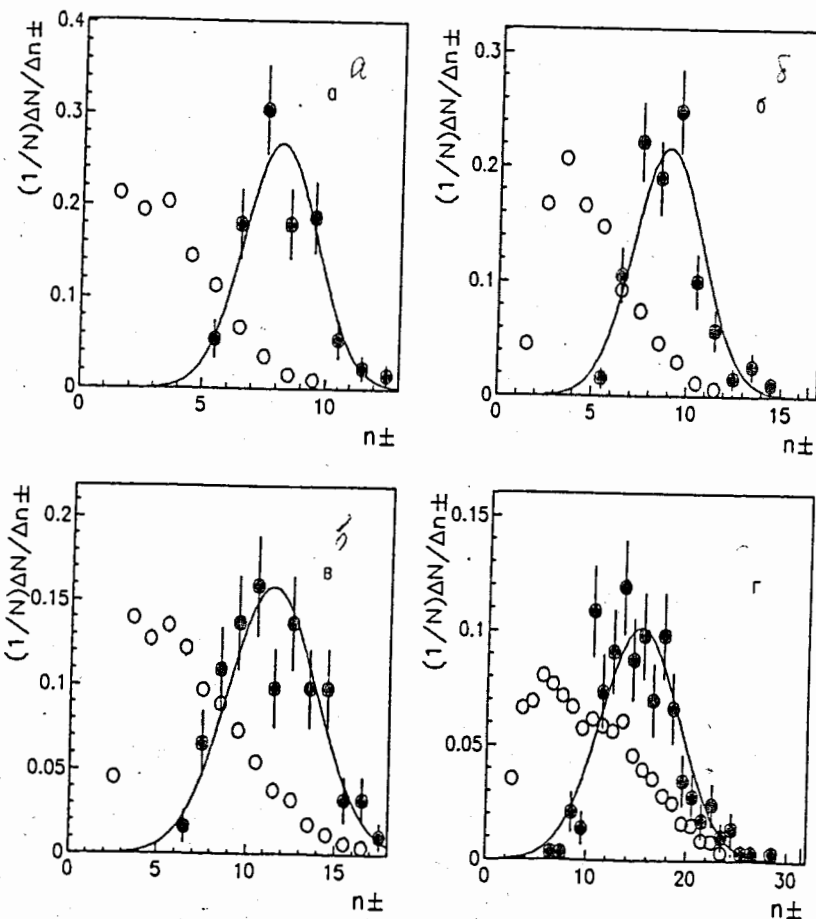


Рис.1. Распределения по множественности всех заряженных частиц в неупругих AC-событиях (○) и в событиях с ПРМ (●); а) — pC-, б) — dC-, в) — αC- и г) — CC-взаимодействия. Кривые — результат аппроксимации распределений (●) кривыми Гаусса

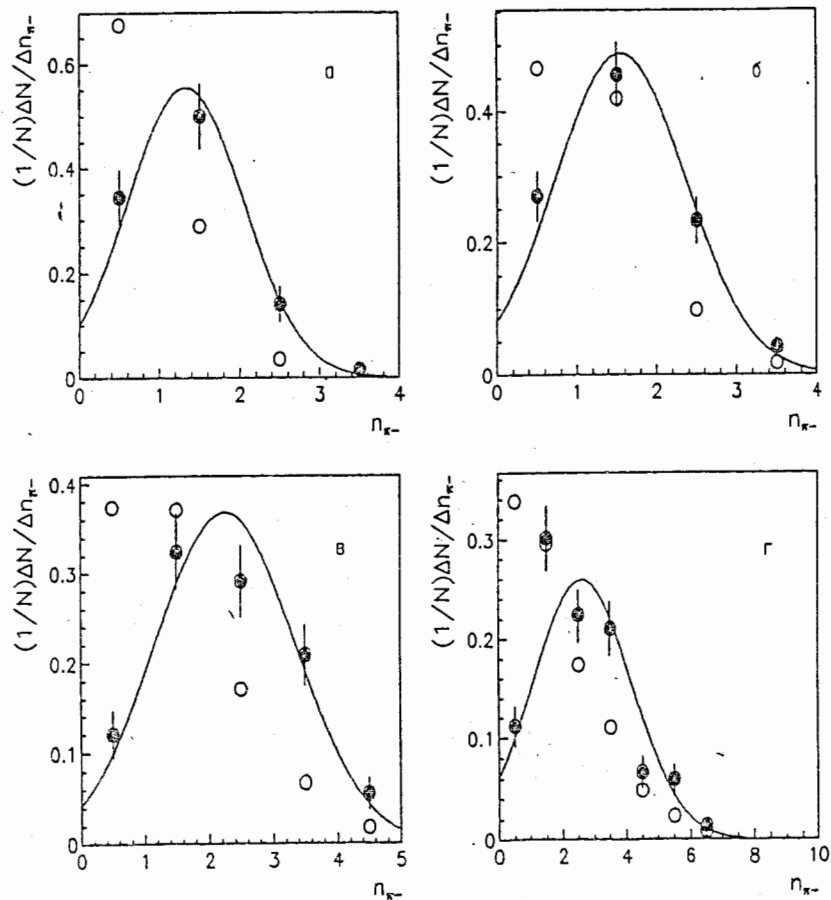


Рис.2. Распределения по множественности π^- -мезонов в различных ансамблях АС-соударений. Обозначения — см. рис.1

В событиях с ПРМ средний недостающий заряд оказался равным 0,93 для рС- и 0,28 для СС-взаимодействий (см. табл.2), т.е. фактически, в рассматриваемом классе соударений незарегистрированной оказалась лишь небольшая доля протонов. Иная ситуация наблюдается для неупругих АС-взаимодействий, где величина $\langle Q \rangle$ изменяется от 4,4 для рС- до 3,1 для СС-соударений (см. табл.2). На наш взгляд этот факт свидетельствует о том, что в «среднем» неупругом ядро-ядерном взаимодействии большая часть ядра-мишени сохраняется в невозбужденном или слабо возбужденном состоянии.

Как видно из данных, приведенных на рис.1+5, распределения по множественности вторичных заряженных частиц из взаимодействий с ПРМ значи-

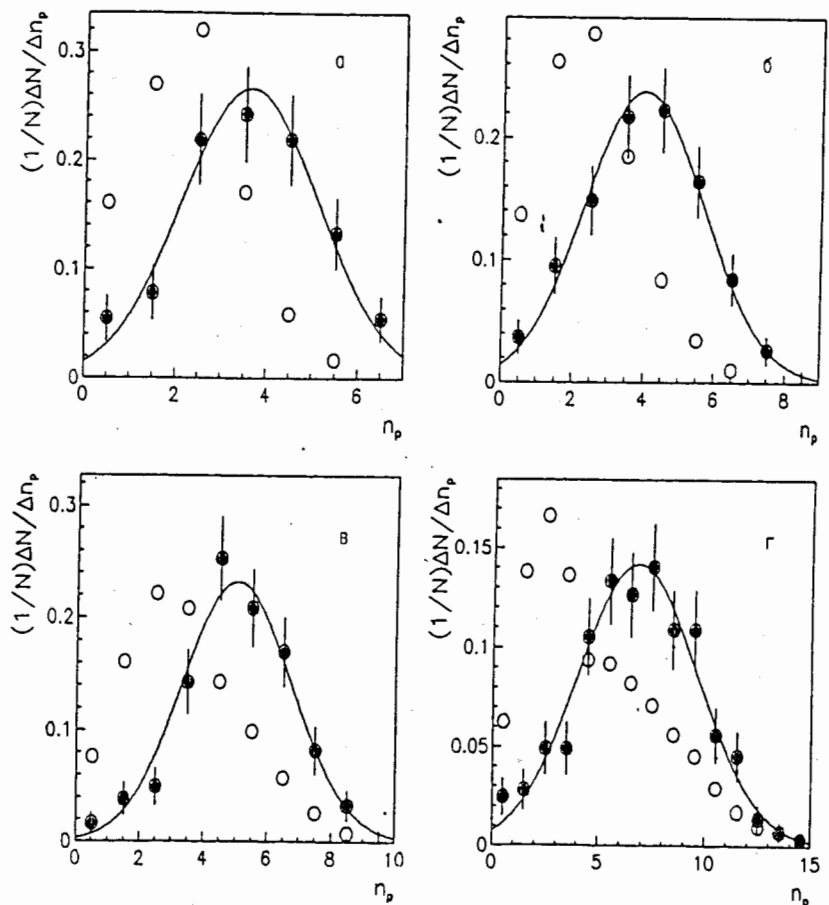


Рис.3. Распределения по множественности протонов-участников из различных ансамблей АС-взаимодействий. Обозначения — см. рис.1

тельно отличаются по форме от аналогичных распределений для неупругих событий. Для взаимодействий с полным разрушением ядра-мишени характерно довольно симметричное, относительно среднего значения множественности, распределение, в то время как для неупругих событий этой симметрии нет. Для наглядности распределения событий с ПРМ аппроксимировались кривыми Гаусса. Отметим, что для большинства взаимодействий с ПРМ число испарительных протонов ($0,15 \leq p_p < 0,3$ ГэВ/с) примерно равно числу быстрых ($0,3 \leq p_p < 0,75$ ГэВ/с) протонов-фрагментов ядра-мишени. Вместе с тем наблюдались события с ПРМ, в которых все фрагменты мишени — либо

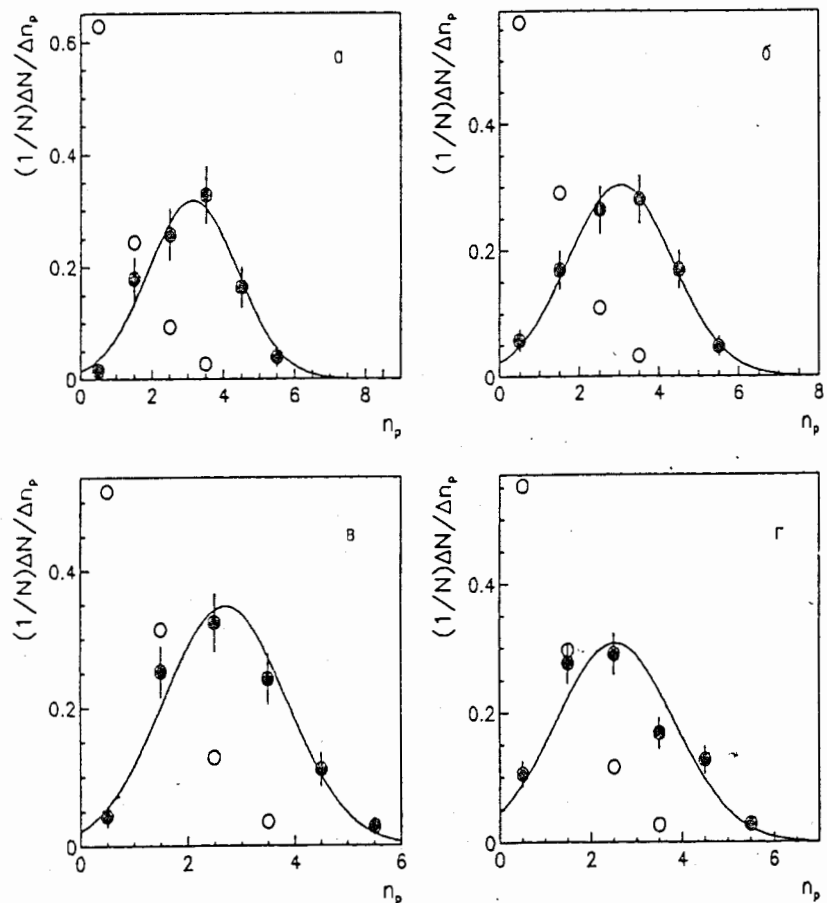


Рис.4. Распределения по множественности протонов с импульсом $0,15 \leq p_p < 0,3$ ГэВ/с. Обозначения — см. рис.1

испарительные протоны (3+4%), либо протоны с $0,3 \leq p_p < 0,75$ ГэВ/с (2+7%), см. рис.4,5. Если принять точку зрения каскадно-испарительной модели [12,17], то это может служить указанием на то, что процесс, приводящий к полному разрушению ядра-мишени в большинстве ядро-ядерных взаимодействий, проходит в две стадии: быструю (каскад) и медленную (испарение). Вместе с тем встречаются, хотя и достаточно редко, взаимодействия, в которых работает только каскадный или только испарительный механизм.

Зависимость множественностей вторичных частиц в событиях с ПРМ от атомного номера ядра-снаряда (A_p -зависимость) представлена в табл.2. Видно,

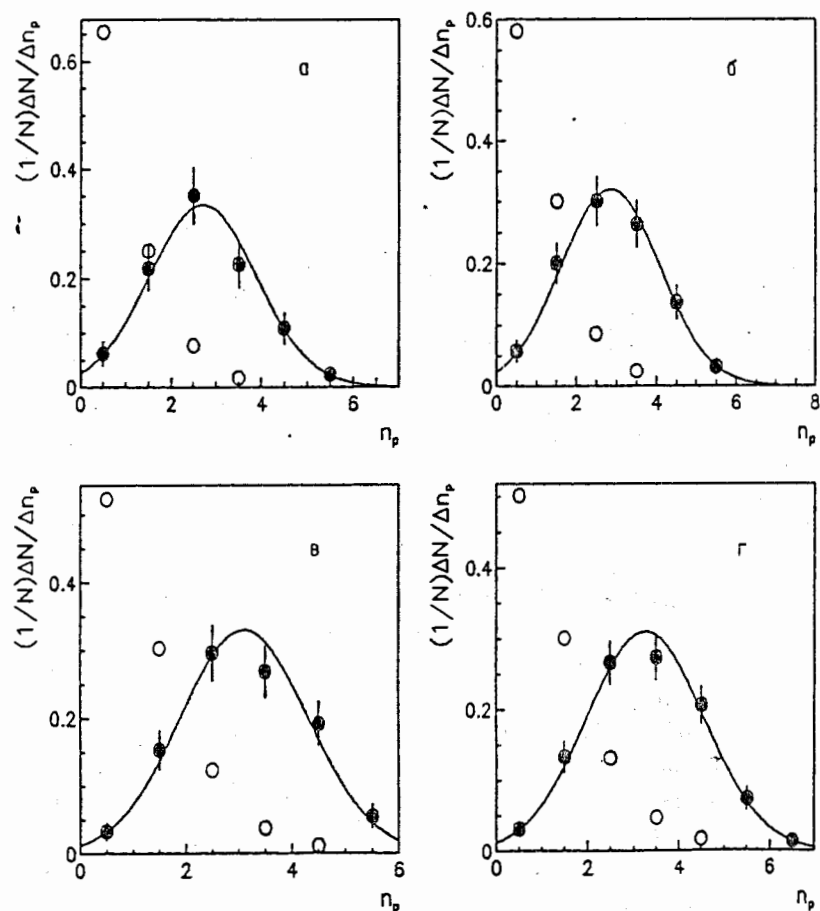


Рис.5. Распределения по множественности протонов с импульсом $0,3 \leq p_p < 0,75$ ГэВ/с. Обозначения — см. рис.1

что средние множественности всех типов частиц, кроме испарительных протонов, возрастают с ростом A_p . Возможное объяснение этого факта: с увеличением A_p возрастает среднее число нуклонов снаряда, участвующих во взаимодействии с мишенью, что приводит к росту множественности быстрых фрагментов мишени и уменьшению массы остаточного ядра и, следовательно, к падению множественности медленных протонов.

В неупругих ядро-ядерных взаимодействиях с увеличением A_p возрастает как среднее число протонов с импульсом в интервале $0,3+0,75$ ГэВ/с, так и, за

счет большой массы остаточного ядра, среднее число испарительных протонов.

Что же касается зависимости средних множественностей π^- -мезонов, а также протонов-участников от массового числа ядра-снаряда, то при переходе от dC - к CC -соударениям она аналогична таковой для неупругих ядро-ядерных взаимодействий (см. табл.2).

Наиболее сильная A_p -зависимость, близкая к $A_p^{2/3}$, наблюдается для протонов с импульсом выше 0,75 ГэВ/с. В такой же степени растет с увеличением A_p и число протонов снаряда $\nu_p(\langle \nu_p \rangle = \langle \nu_N \rangle / 2)$, участвующих во взаимодействии с ядром-мишенью. Именно они, в основном, и составляют группу быстрых протонов. Вклад в эту группу протонов, выбитых из мишени, невелик и составляет по нашим оценкам около 15% для αC - и CC -взаимодействий. Для pC - и dC -соударений средняя множественность протонов с импульсом $p \leq 0,75$ ГэВ/с с учетом невидимых протонов с импульсом $p \leq 0,15$ ГэВ/с в пределах ошибок равна 6.

4. ИМПУЛЬСНЫЕ И УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

Сравнение импульсных и угловых распределений вторичных частиц из неупругих ядро-ядерных соударений и взаимодействий с полным разрушением мишени показывает, что спектры π^- -мезонов в pC - и dC -событиях с ПРМ несколько мягче, чем в соответствующих неупругих (табл.3). Для αC - и CC -соударений эти спектры практически идентичны в обоих типах взаимодействий (рис.6). Средние поперечные импульсы π^- -мезонов не зависят ни от атомного номера снаряда, ни от степени дезинтеграции ядра-мишени и равны $0,25 \pm 0,01$ ГэВ/с.

Импульсные и угловые распределения быстрых фрагментов мишени обнаруживают слабую, на уровне $\leq 5\%$, A_p -зависимость в сторону увеличения среднего импульса и такого же уменьшения среднего угла вылета при переходе от pC - к CC -соударениям (табл.3). В целом импульсные и угловые характеристики протонов с импульсом $0,15 \leq p_p < 0,75$ ГэВ/с из событий с ПРМ близки к соответствующим характеристикам протонов из неупругих взаимодействий (рис.7,8).

Отметим, что угловые распределения испарительных протонов анизотропны в лаб.системе, как для событий с ПРМ, так и для неупругих взаимодействий (рис.9); коэффициенты анизотропии

$$\alpha = (F - B) / (F + B),$$

где F и B — число протонов, вылетающих в переднюю и заднюю полусферы соответственно составляют для случаев с ПРМ $0,25 \pm 0,05$, а для неупругих событий — $0,23 \pm 0,02$, т.е. практически совпадают. Этот факт свидетельствует о том, что испускание медленных ($0,15 \leq p_p < 0,3$ ГэВ/с) протонов происходит из системы, которая имеет импульс в л.с.к. в направлении движения налетающего ядра после завершения быстрой (каскадной) стадии взаимодействия сталкивающихся ядер.

Таблица 3. Средние импульсные и угловые характеристики AC -событий с ПРМ (числитель) и всех неупругих (знаменатель)

Характеристика	Взаимодействия			
	pC	dC	αC	CC
$\langle p_{\pi^-} \rangle$, ГэВ/с	$0,43 \pm 0,03$ $0,50 \pm 0,01$	$0,49 \pm 0,03$ $0,55 \pm 0,01$	$0,59 \pm 0,03$ $0,59 \pm 0,01$	$0,61 \pm 0,02$ $0,60 \pm 0,00$
$\langle \theta_{\pi^-} \rangle$, град	$53,7 \pm 3,7$ $49,2 \pm 0,7$	$44,3 \pm 2,3$ $44,6 \pm 0,5$	$45,4 \pm 2,1$ $43,2 \pm 0,5$	$41,9 \pm 1,4$ $39,8 \pm 0,3$
$\langle p_p^{yc} \rangle$, ГэВ/с	$0,66 \pm 0,03$ $1,26 \pm 0,01$	$0,77 \pm 0,03$ $1,31 \pm 0,01$	$1,09 \pm 0,04$ $1,56 \pm 0,01$	$1,43 \pm 0,03$ $1,88 \pm 0,01$
$\langle p_{\perp p}^{yc} \rangle$, ГэВ/с	$0,40 \pm 0,01$ $0,44 \pm 0,00$	$0,38 \pm 0,01$ $0,45 \pm 0,00$	$0,43 \pm 0,01$ $0,49 \pm 0,00$	$0,44 \pm 0,01$ $0,49 \pm 0,00$
$\langle \theta_p^{yc} \rangle$, град	$55,8 \pm 1,6$ $37,7 \pm 0,3$	$54,9 \pm 1,3$ $38,3 \pm 0,3$	$45,7 \pm 1,0$ $34,5 \pm 0,2$	$38,8 \pm 0,7$ $28,6 \pm 0,1$
$\langle p_p \rangle$, $0,3 \leq p_p < 0,75$, ГэВ/с	$0,45 \pm 0,01$ $0,47 \pm 0,00$	$0,45 \pm 0,01$ $0,47 \pm 0,00$	$0,46 \pm 0,01$ $0,47 \pm 0,00$	$0,47 \pm 0,01$ $0,48 \pm 0,00$
$\langle \theta_p \rangle$, $0,3 \leq p_p < 0,75$, ГэВ/с	$61,7 \pm 1,7$ $58,1 \pm 0,5$	$64,2 \pm 1,5$ $59,0 \pm 0,4$	$60,6 \pm 1,3$ $58,2 \pm 0,4$	$58,7 \pm 1,0$ $55,9 \pm 0,3$
$\langle p_p \rangle$, $p_p \geq 0,75$, ГэВ/с	$1,53 \pm 0,08$ $1,86 \pm 0,01$	$1,84 \pm 0,07$ $1,97 \pm 0,01$	$2,12 \pm 0,06$ $2,17 \pm 0,01$	$2,43 \pm 0,05$ $2,41 \pm 0,01$
$\langle p_{\perp p} \rangle$, $p_p \geq 0,75$, ГэВ/с	$0,67 \pm 0,04$ $0,52 \pm 0,00$	$0,57 \pm 0,02$ $0,54 \pm 0,00$	$0,57 \pm 0,02$ $0,57 \pm 0,00$	$0,55 \pm 0,01$ $0,55 \pm 0,00$
$\langle \theta_p \rangle$, $p_p \geq 0,75$, град	$31,5 \pm 2,1$ $22,1 \pm 0,2$	$24,4 \pm 1,4$ $22,2 \pm 0,2$	$21,7 \pm 0,9$ $21,4 \pm 0,2$	$18,0 \pm 0,5$ $18,2 \pm 0,1$

Импульсные и угловые распределения протонов с $p_p > 0,75$ ГэВ/с (в основном это фрагменты ядра-снаряда) заметно зависят от A_p как для событий с ПРМ, так и для всех неупругих. С ростом A_p спектр протонов становится жестче ($\langle p_p \rangle$ — растет), а угловое распределение становится уже ($\langle \theta \rangle$ — уменьшается) (см. табл.3). Обращают на себя внимание существенно меньшие

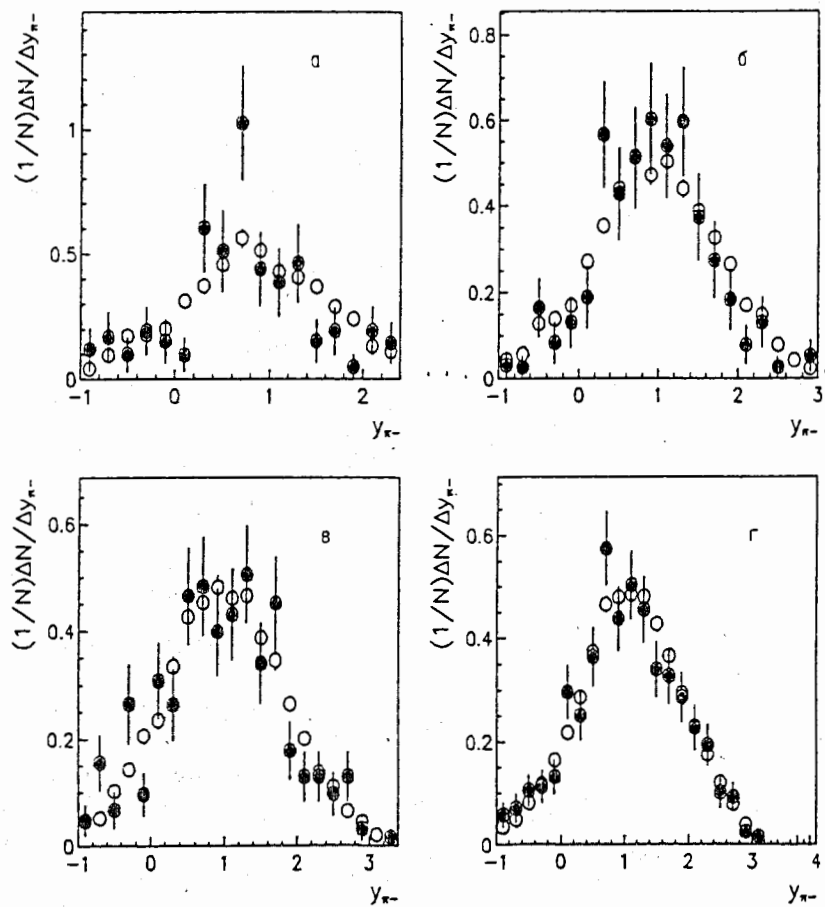


Рис.6. Распределения π^- -мезонов по быстройте в неупругих АС-событиях (о) и в событиях с ПРМ (•); а) — pC -, б) — dC -, в) — αC - и г) — CC -взаимодействия

средние импульсы и быстроты и большие $\langle p_{\perp} \rangle$ и $\langle \theta \rangle$ для протонов с $p_p > 0,75$ ГэВ/с в pC -столкновениях с ПРМ, по сравнению с таковыми в неупругих соударениях; в αC - и CC -взаимодействиях такого эффекта не наблюдается (табл.3). Данные, приведенные на рис.10, наглядно демонстрируют изменение характера быстройных распределений протонов с $p_p > 0,75$ ГэВ/с с увеличением атомного номера и, следовательно, числа взаимодействующих нуклонов из ядра-снаряда (см. табл.2). Итак, показано, что импульсные и угловые характеристики протонов с импульсами в интервале $0,3 \leq p_p < 0,75$ ГэВ/с

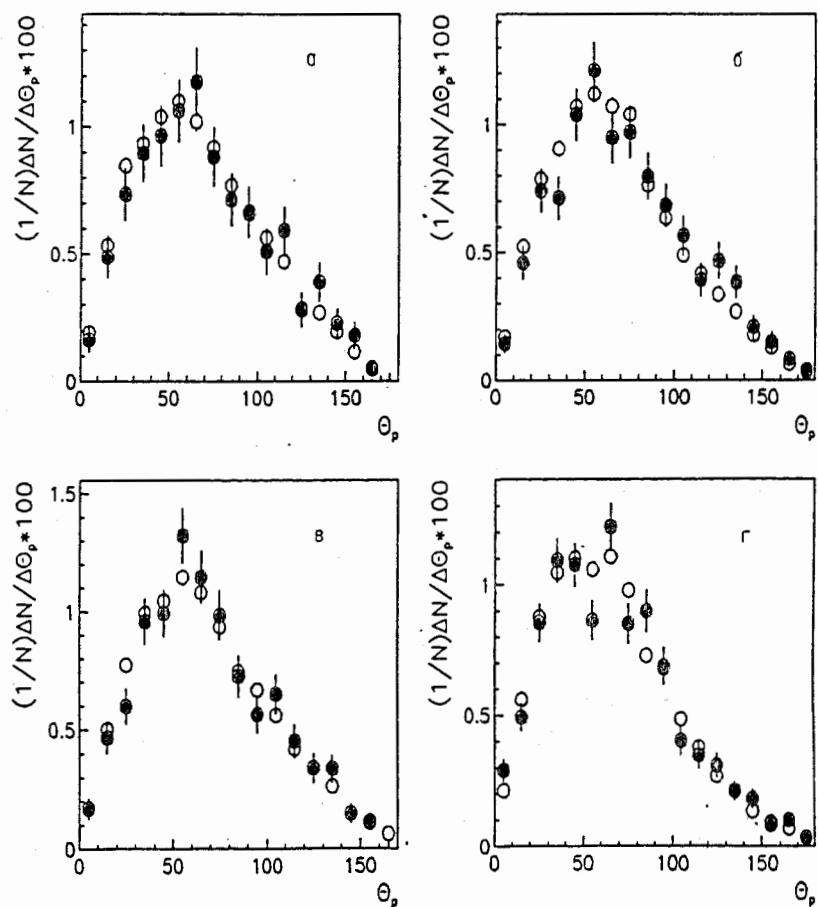


Рис.7. Угловые распределения протонов с импульсом $0,15 \leq p_p < 0,75$ ГэВ/с. Обозначения — см. рис.6

и $p_p > 0,75$ ГэВ/с для dC -, αC - и CC -событий с ПРМ совпадают или близки к характеристикам тех же групп протонов из соответствующих неупругих АС-взаимодействий. Следовательно, только различное соотношение между числом протонов от фрагментации мишени и снаряда среди протонов-участников приводит к существенному отличию их распределений по кинематическим переменным в сравниваемых типах событий (ПРМ и неупругие) (рис.11, 12).

В угловых распределениях протонов-участников из pC -, dC - и αC -столкновений с ПРМ видны особенности в области $\theta \approx 50^\circ + 60^\circ$ (наиболее выраже-

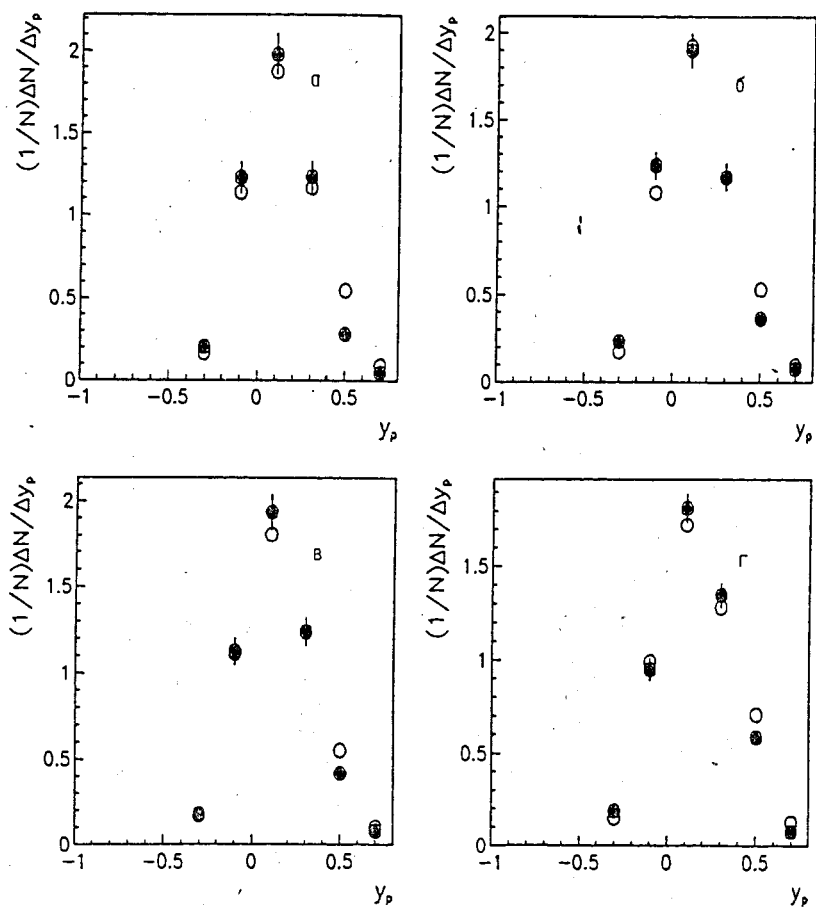


Рис.8. Быстротные распределения протонов с $0,15 \leq p_p < 0,75$ ГэВ/с. Обозначения — см. рис.6

ны они для pC) (рис.12), которые указывают на возможное образование ударных волн в этих взаимодействиях. В π^-C -взаимодействиях такие особенности наблюдались при 5 [10] и 40 [9] ГэВ/с.

Интересное явление обнаружено нами при сравнении спектров π^+ - и π^- -мезонов из ядро-ядерных соударений с ПРМ. В интервале импульсов от 0,1 до 0,3 ГэВ/с число π^- -мезонов превышает число π^+ -мезонов на 27% в dC - и CS -столкновениях и на 49% в αC , чего не наблюдается в неупругих событиях. Действительно, во взаимодействиях симметричных ядер распределения π^+ - и

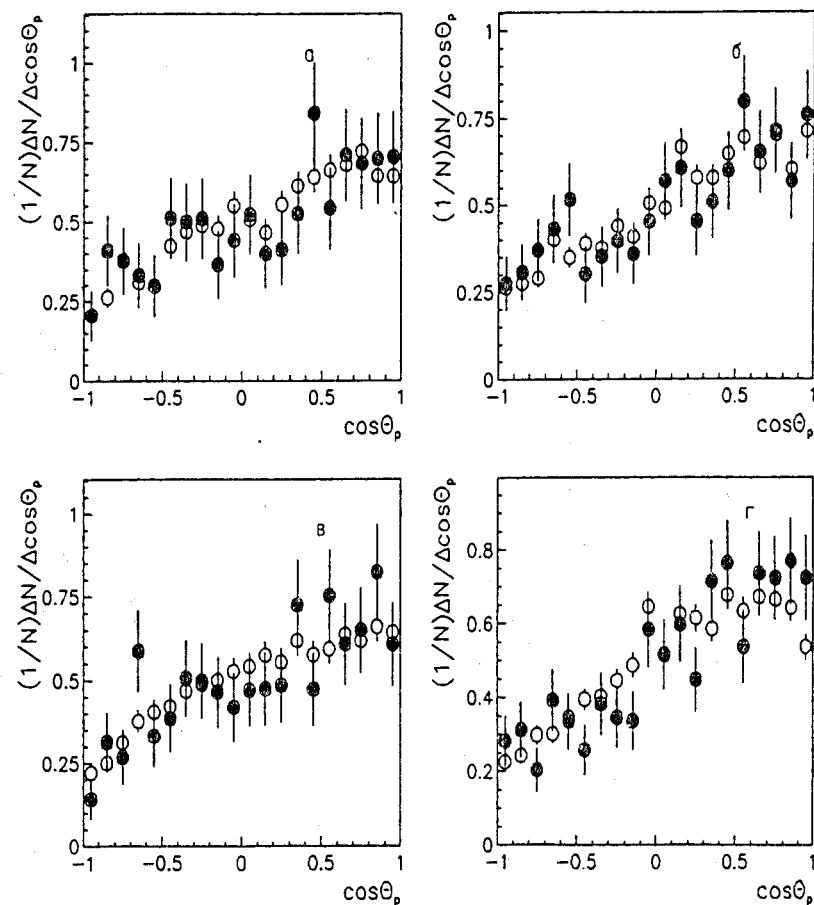


Рис.9. Угловые распределения протонов с импульсом $0,15 \leq p_p < 0,3$ ГэВ/с. Обозначения — см. рис.6

π^- -мезонов должны совпадать по всем переменным. Можно предположить, что недостающие малознергичные π^+ -мезоны провзаимодействовали в ядре углерода с квазидейтронной парой ($\pi^+ + (np) \rightarrow p + p$), тем самым увеличив число протонов в конечном состоянии. Поскольку критерием отбора событий с ПРМ служило наличие 5 и более протонов с $p_p < 0,75$ ГэВ/с, то события с поглощением π^+ -мезонов пополнили группу взаимодействий с ПРМ. Реакция $\pi^+ + (np) \rightarrow nn$ приводит к уменьшению числа протонов в событии и, следова-

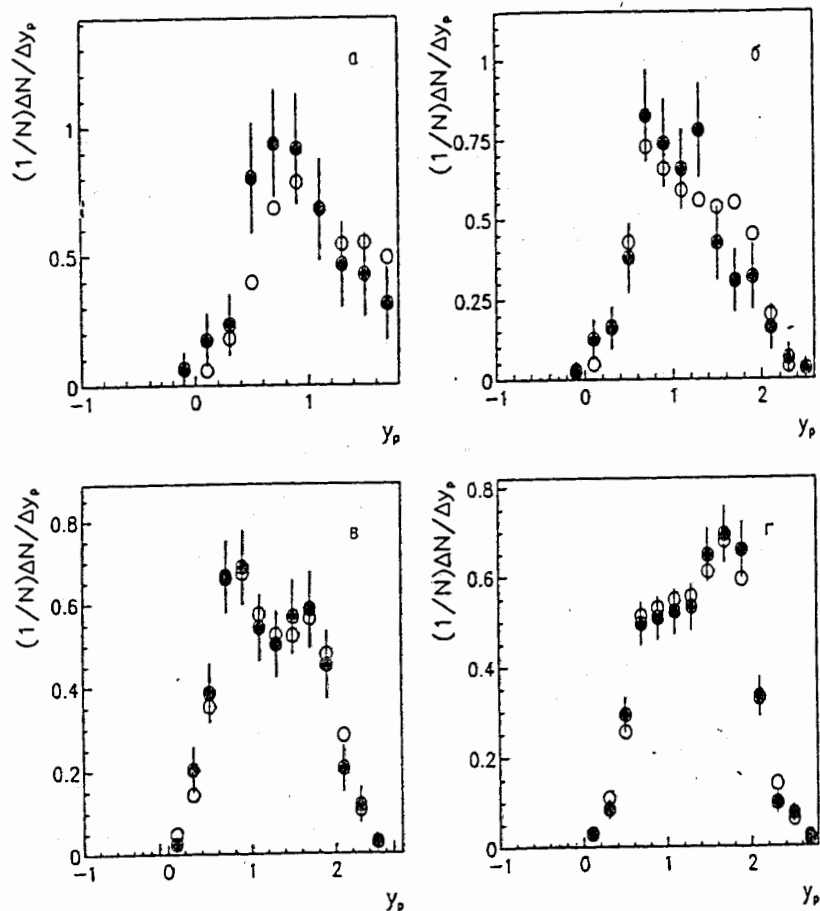


Рис.10. Быстротные распределения протонов с $p_p > 0.75$ ГэВ/с. Обозначения — см. рис.6

тельно, этот канал не может служить источником пополнения ансамбля событий с ПРМ.

Проведенный анализ по энерговыделению в событиях с полным разрушением ядра углерода под действием легких ядер показал, что налетающее ядро при взаимодействии теряет, в среднем, на 20% больше энергии, чем в соответствующих неупругих соударениях. Эта энергия, в основном, идет на увеличение множественности вторичных частиц, а не на увеличение их импульсов. Аналогичный вывод можно сделать по результатам работ, посвященных анализу событий с полным разрушением ядер Ag и Вг [2,6].

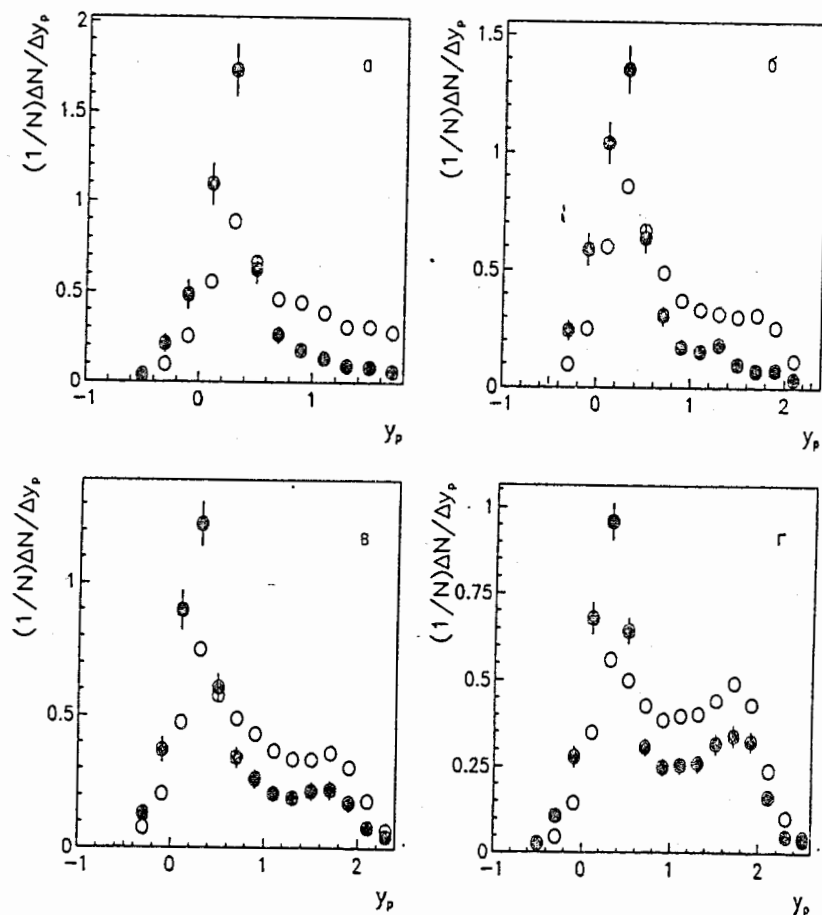


Рис.11. Быстротные распределения протонов-участников. Обозначения — см. рис.6

5. СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОБЫТИЙ С ПОЛНЫМ РАЗРУШЕНИЕМ ЛЕГКОГО И ТЯЖЕЛОГО ЯДЕР-МИШЕНЕЙ

Для сравнения результатов, полученных при анализе событий с полным разрушением ядра углерода под действием легких ядер-снарядов: p , d , α и ^{12}C , с имеющимися в литературе данными для взаимодействий с ПР тяжелой компоненты эмульсии — ядер Ag и Вг при соударениях с теми же ядрами-снарядами, были отобраны неупругие ядро-ядерные взаимодействия, содержащие 4 и более протонов с импульсом $p_p \leq 0.95$ ГэВ/с, что соответствует критериям

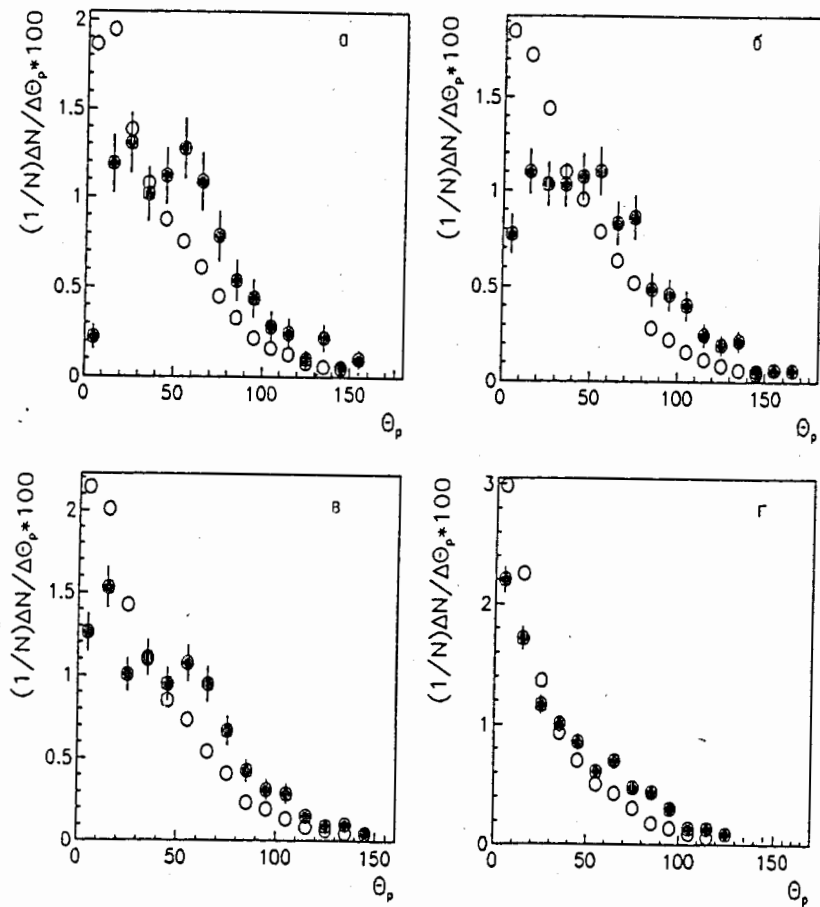


Рис.12. Угловые распределения протонов-участников. Обозначения — см. рис.6

отбора событий с ПР тяжелого ядра-мишени в фотоэмульсии [1—8]*. Кроме того, в изучаемых событиях, в соответствии с фотоэмульсионной методикой, все вторичные частицы были разделены на:

1. *s*-частицы, к которым мы отнесли протоны с $p_p > 0,95$ ГэВ/с ($T > 400$ МэВ) и пионы с $p > 150$ МэВ/с ($T > 60$ МэВ);
2. *g*-частицы — протоны с импульсом в интервале $0,24 < p_p \leq 0,95$ ГэВ/с ($30 < T \leq 400$ МэВ) и пионы с $60 < p \leq 150$ МэВ/с;

*При критериях, используемых для отбора событий с ПР ядер Ag и Вг в фотоэмульсии, среди фрагментов мишени наблюдаются не только однозарядные, но и фрагменты с $z \geq 2$.

Таблица 4. Вероятности полного разрушения легкой (наши данные) и тяжелой ([1—8]) мишеней

	Взаимодействия			
	<i>p</i> C	<i>d</i> C	α C	CC
$N_{\text{соб}}^{\text{ПРМ}}, n_p \geq 4$ $0,15 \leq p_p < 0,95$ ГэВ/с	425	718	729	1346
<i>W</i> , %	$8,0 \pm 0,5$	$10,7 \pm 0,4$	$15,0 \pm 0,6$	$18,4 \pm 0,5$
	<i>p</i> AgBr	<i>d</i> AgBr	α AgBr	CAgBr
$N_{\text{соб}}^{\text{ПРМ}}, n_h \geq 28$ $0 < p_h < 0,95$ ГэВ/с		96	120	114
<i>W</i> , %	$0,5 \pm 0,2$	$2,6 \pm 0,5$	$6,8 \pm 0,9$	$18,5 \pm 2,3$

3. *b*-частицы, в число которых включены протоны с импульсом $p_p < 0,24$ ГэВ/с.

При сравнении характеристик событий с полным разрушением легкой и тяжелой мишеней при близких энергиях на нуклон снаряда (3,3+3,7 ГэВ) были обнаружены следующие качественные закономерности:

• С увеличением атомного номера ядра-снаряда в обоих случаях растет доля (*W*) событий с ПРМ среди всего ансамбля неупругих событий. Однако «скорости» роста этих долей значительно отличаются для легкого и тяжелого ядер при существенном различии абсолютных величин выхода событий с ПРМ под действием протонов, дейтронов и α -частиц (см. табл.4). При переходе от *p*C- к CC-взаимодействиям *W* возрастает с 8% до 18%, тогда как для AAgBr-взаимодействий она изменяется от 0,5% до 18,5% [6]. Вполне понятно, что вероятность полного разрушения легкого ядра-мишени при взаимодействии с легкими ядрами-снарядами (такими как *p*, *d*, α) выше, чем в случае тяжелого ядра-мишени. Интересный результат состоит в том, что ядро углерода с импульсом 4,5 АГэВ/с с одинаковой вероятностью разрушает и легкое, и тяжелое ядро.

• С увеличением A_p снаряда и в AC-, и в AAgBr-соударениях, с ПРМ возрастают средние множественности *s*- и *g*-частиц, а $\langle n_b \rangle$ уменьшаются. Однако возрастание $\langle n_s \rangle$ для AAgBr-событий, идет значительно быстрее ($\sim A$) [6], чем для AC-соударений ($\sim A^{1/2}$). Рост $\langle n_g \rangle$ и уменьшение $\langle n_b \rangle$ при переходе от *d*C- к CC-взаимодействиям происходит примерно также, как при переходе от *d*AgBr- к CAgBr-столкновениям.

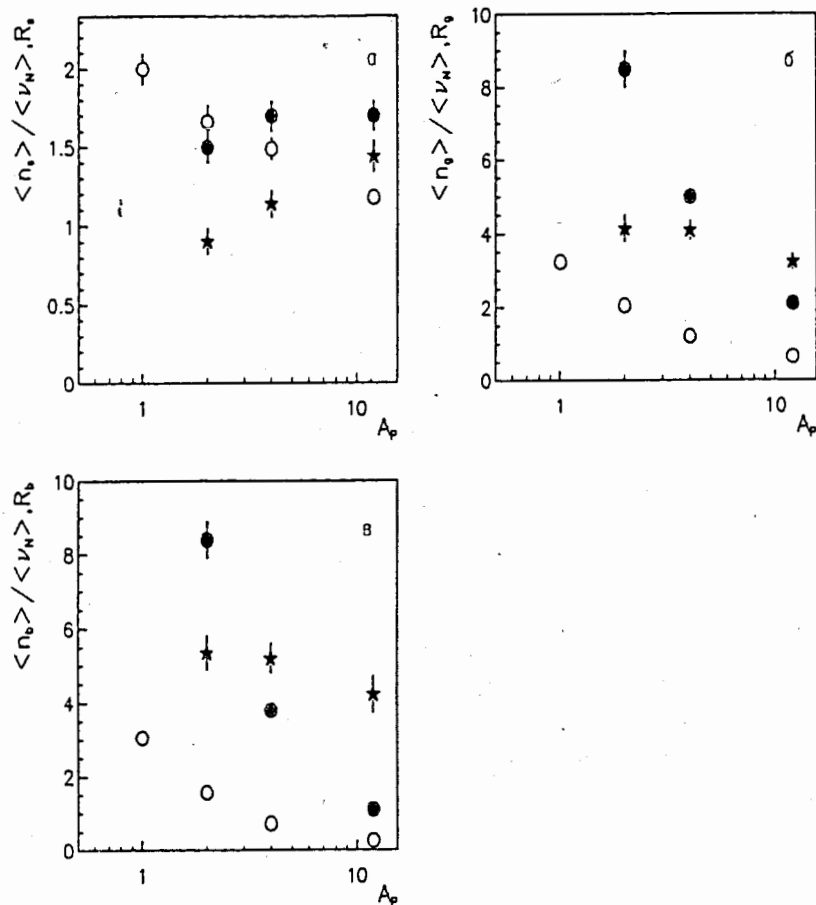


Рис.13. A_p -зависимости удельных множественностей s - а), g - б) и b -частиц — в) для AAgrVr (●) и AC (○) взаимодействий с ПРМ и их отношения (★)

● Для AC- и AAgrVr-событий с полным разрушением ядра-мишени наблюдаются близкие A_p -зависимости удельных множественностей g - и b -частиц ($\langle n_g \rangle / \langle \nu_N \rangle$, $\langle n_b \rangle / \langle \nu_N \rangle$) при существенном различии A_p -зависимостей для отношения $\langle n_s \rangle / \langle \nu_N \rangle$, что можно увидеть из поведения отношений удельных множественностей

$$R = \frac{(\langle n \rangle / \langle \nu_N \rangle)_{AAgrVr}}{(\langle n \rangle / \langle \nu_N \rangle)_{AC}}$$

(рис.13). Удельные множественности s -частиц в AC-событиях с ПРМ с ростом A_p уменьшаются, а в AAgrVr в пределах ошибок от A_p не зависят.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ AC-событий с полным разрушением ядра-мишени при 4,2 АГэВ/с и сравнение характеристик этих событий с соответствующими характеристиками неупругих взаимодействий легких ядер (p , d , α , C) с ядром углерода позволяют сделать следующие выводы:

- При использованных нами критериях отбора доля событий с ПРМ составляет ~ 2,4% в pC -соударениях и возрастает с увеличением атомного номера налетающего ядра, достигая 3,9% в CC -соударениях.

- События с ПРМ являются в среднем более центральными, в них принимает участие больше нуклонов, налетающие ядра теряют в среднем больше энергии при столкновении с мишенью по сравнению со всеми неупругими взаимодействиями. Эта энергия идет на увеличение множественности пионов и на полное разрушение ядра-мишени, что приводит к увеличению множественности фрагментов мишени.

- Импульсные и угловые распределения π^- -мезонов, протонов-фрагментов ядра-мишени и протонов-участников из ядер-снарядов для событий с ПРМ (за исключением pC) в пределах ошибок совпадают с соответствующими распределениями для неупругих AC-взаимодействий.

- Протоны-участники в событиях с ПРМ имеют иной импульсный состав, чем в неупругих AC-взаимодействиях.

- Увеличение множественности вторичных частиц (кроме испарительных) в событиях с ПРМ является следствием того, что нуклоны из ядра-снаряда претерпевают в ядре-мишени несколько взаимодействий (каскад) с образованием вторичных частиц, которые, в свою очередь, тоже вносят вклад в увеличение конечной множественности частиц в событиях.

- Ядро-мишень или его остаток после выбивания нуклонов на быстрой стадии взаимодействия получает значительный импульс, переходит в более сильное, чем в неупругих событиях, возбужденное состояние, а снятие возбуждения реализуется через испускание нуклонов (испарение).

- В процессе полного разрушения ядра углерода реализуются, по крайней мере, два механизма ядро-ядерных взаимодействий — каскад и испарение. Причем имеют место события только с каскадной или только с испарительной стадией разрушения мишени.

Авторы благодарны всем участникам международного сотрудничества по обработке фоновой информации с 2 м пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ за получение экспериментального материала, использованного в настоящем исследовании, лаборантам за просмотр пленок и измерение событий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толстов К.Д., Хошмухамедов Р.А. — Сообщение ОИЯИ P1-6897, Дубна, 1973.
2. Ахроров У.А. и др. — Препринт ОИЯИ P1-9963, Дубна, 1976.
3. Антончик В.А. и др. — Сообщение ОИЯИ P1-12111, Дубна, 1979.
4. Толстов К.Д. — Препринт ОИЯИ E1-80-552, Дубна, 1980; *Zeit. Phys.*, 1981, vol.A301, p.339.
5. Андреева Н.П. и др. — ЯФ, 1981, т.34, с.790.
6. Богданов В.Г. и др. — ЯФ, 1983, т.38, с.1493.
7. Андреева Н.П. и др. — ЯФ, 1992, т.55, с.1010.
8. Андреева Н.П. и др. — Сообщение ОИЯИ E1-9259, Дубна, 1992; ЯФ, 1995, т.58, с.1024.
9. Аношин А.И. и др. — Сообщение ОИЯИ P1-80332, Дубна, 1980; ЯФ, 1981, т.33, с.164.
10. Абдинов О.Б. и др. — Сообщение ОИЯИ 1-80-859, Дубна, 1980.
11. Абдинов О.Б. и др. — Краткие сообщ. ОИЯИ 1(75)96, Дубна, 1996.
12. Тонеев В.Д., Чигринов С.Е. — Сообщение ОИЯИ P4-7479, Дубна, 1973.
13. Калинин Б.Н., Шмонин В.Л. — Сообщение ОИЯИ P2-7871, Дубна, 1974.
14. Мосиенко А.М., Шабельский Ю.М. — ЯФ, 1990, т.52, с.876.
15. Агакишиев Г.Н. и др. — ЯФ, 1984, т.40, с.1209. *Zeit. Phys.*, 1985, vol.C27, p.177.
16. Армутлийски Д. и др. — ЯФ, 1987, т.45, с.1047; *Zeit. Phys.*, 1987, vol.A328, p.455.
17. Musulmanbekov Je. — *Proceed. of 11-th Intern. Symp. on High Energy Spin Physics AIP conf. proceed.* 1995, 343, p.428.

Бондаренко А.И., Бондаренко Р.А., Кладницкая Е.Н.
Изучение ядро-ядерных взаимодействий с полным
разрушением ядра-мишени при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон

P1-96-447

В работе исследуется процесс полного разрушения ядра углерода под действием протонов, дейтронов, α -частиц и ядер углерода при импульсе 4,2 ГэВ/с на нуклон. Определены множественности, импульсные и угловые характеристики вторичных частиц и их зависимость от атомного номера ядра-снаряда. Проведено сравнение pC -, dC -, αC - и CC -взаимодействий с полным разрушением ядра-мишени (ПРМ) с соответствующими неупругими взаимодействиями. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в процессе полного разрушения ядра углерода реализуются по крайней мере два механизма ядро-ядерных взаимодействий: каскад и испарение фрагментов мишени.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1996

Перевод авторов

Bondarenko A.I., Bondarenko R.A., Kladnitskaya E.N.
Study of Nucleus-Nucleus Interactions with Complete Destruction
of the Target Nucleus with Momentum 4.2 GeV/c per Nucleon

P1-96-447

Process of the complete destruction of carbon target by protons, deuterons, alphas and carbon nucleus with momentum 4.2 GeV/c per nucleon are investigated. Multiplicities, momentum and angular characteristics of secondary particles and their A -dependence are presented. These data are systematically compared with characteristics of inelastic pC , dC , αC and CC interactions. According to experimental results two mechanisms — cascade and evaporation of target fragments are realised in the process of the complete destruction of carbon nucleus.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1996