

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P1-84-552

С.Вокал, М.Карабова, А.Мухторов, Р.Тогоо,  
К.Д.Толстов, Й.Тучек, М.Шумбера

ПОЛНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЯДЕР СВИНЦА  
ЯДРАМИ  $^{12}\text{C}$  ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,5 А ГэВ/с

1984

В ранее выполненных работах <sup>1,2/</sup> нами были исследованы полные разрушения ядер свинца протонами и ядрами <sup>4</sup>He с импульсами 70 ГэВ/с и 18 ГэВ/с, соответственно. При этом был выявлен ряд закономерностей:

а/ разрушение проходит, в основном, на отдельные нуклоны без ядра-остатка;

б/ оно не обуславливалось генерацией пионов;

в/ наблюдалась большая доля частиц с энергией  $\leq 1$  МэВ, т.е. много ниже кулоновского барьера.

В настоящей работе получены экспериментальные данные о полном разрушении ядер свинца ядрами <sup>12</sup>C и проведено сравнение со случаем <sup>4</sup>He при одинаковом импульсе 4,5 А ГэВ/с.

В опытах использовались фотоэмульсионные камеры /толщина слоя 500μ/, изготовленные в ЛВЭ ОИЯИ из жидкой фотоэмульсии ГОСНИИХИМФОТОПРОЕКТА БР-2, в которые вводились соли свинца. Ядерный состав слоев и сечения неупругих взаимодействий <sup>12</sup>C с ядрами дают долю вероятности взаимодействий с ядрами Pb ~ 10%. В опытах отбирались взаимодействия, в которых число частиц в результате фрагментации ядер мишеней  $N_h \geq 40$ , т.к. на основании <sup>3/</sup> вероятность таких событий на ядрах (Br, Ag) меньше 2%.

Вторичные частицы классифицировались на релятивистские / S-частицы/ с  $\beta \geq 0,7$ , g- частицы, кинетическая энергия которых в случае протонов заключена в интервале  $26 \leq T_g < 400$  МэВ, и b- частицы, все остальные - с меньшей энергией. Разделение частиц по этим группам производилось путем измерения ионизационных потерь в области  $\beta \geq 0,7$  и по пробегу для b-частиц.

В табл.1 приведены результаты опытов, а также для сравнения - данные <sup>1,4/</sup>, где исследовались полные разрушения ядер (Br, Ag) и Pb.

Интересным является то обстоятельство, что с увеличением толщины ядерного вещества на пути налетающего ядра углерода /т.е. при увеличении  $N_h$  / не наблюдается увеличения выхода релятивистских частиц. При переходе от первичной  $\alpha$ -частицы к ядру <sup>12</sup>C обращает на себя внимание постоянство средней множественности заряженных пионов  $\langle n_{S,\pi} \rangle = \langle n_S \rangle - \langle n_{S,p} \rangle$ .

Были вычислены коэффициенты неупругости для вышеприведенных реакций. Для этого использовались данные табл.1 и следующие приближения:

/А/ Все пионы являются релятивистскими и число  $n_{S,p}$  -протонов среди S-частиц равно заряду налетающего ядра.

/Б/ Средняя энергия пионов  $\langle E_\pi \rangle \approx \langle E_\pi^- \rangle$  и соответственно <sup>5/</sup>,  $\langle E_\pi^- \rangle \approx 0,4$  ГэВ. Такое же значение было нами независимо получено



Таблица 1  
Вероятности событий полного разрушения ядер мишеней, средние числа  $S$ ,  $g$  и  $S$ - частиц и средние кинетические энергии  $g$  и  $b$  частиц в таких событиях во взаимодействиях ядер  ${}^4\text{He}$  и  ${}^{12}\text{C}$  с ядрами (Br, Ag) и Pb.

Снаряд:	${}^{12}\text{C}$			${}^4\text{He}$
	(Ag, Br), $N_h > 28$	Pb, $N_h > 50$	Pb, $N_h \geq 40$	Pb, $N_h > 40$
W, %	$17 \pm 2$	$15 \pm 2$	$23 \pm 2$	$10 \pm 2$
$\langle n_g \rangle$	$18.6 \pm 0.7$	$17.2 \pm 1.3$	$15.9 \pm 0.8$	$12.5 \pm 2.0$
$\langle n_q \rangle$	$22.3 \pm 0.8$	$38.3 \pm 1.4$	$33.4 \pm 1.2$	$34.7 \pm 2.4$
$\langle n_b \rangle$	$11.1 \pm 0.5$	$20.9 \pm 1.2$	$20.5 \pm 1.0$	$12.7 \pm 1.3$
$\langle T_g \rangle$ , МэВ	$148 \pm 3$	—	—	—
$\langle T_b \rangle$ , МэВ	$17 \pm 1$	—	—	—

Следовательно, в случае  ${}^4\text{He}$ Pb-соударений не остается энергии для фрагментов ядра-снаряда /противоречие с /А//. Если принять, что при увеличении массы ядра-мишени происходит заметное смягчение / ~50%/ энергетических спектров  $g$ -частиц, то коэффициент  $K$  уменьшится до значений  $0,9 \pm 0,1$  и  $0,3 \pm 0,1$  для налетающих ядер  ${}^4\text{He}$  и  ${}^{12}\text{C}$  соответственно.

Таким образом, неупругости в предельных расщеплениях средних ядер (Br, Ag) и тяжелых Pb ядер-мишеней существенно зависят от массы ядра-снаряда и слабо - от массы мишени. Приведенные выше факты трудно объяснить в рамках привычных представлений о ядерных соударениях как совокупности независимых нуклон-нуклонных столкновений. Выводы в пользу последнего утверждения следуют также из глобального анализа характеристик вторичных частиц в поперечной плоскости столкновения.

Для изучения корреляций между различными вторичными заряженными частицами в азимутальной плоскости  ${}^{12}\text{C}$ Pb-соударения /с  $N_h \geq 50$ / мы используем следующие коллективные характеристики-функции азимутальных углов вылета частиц /6/.

1. Коэффициенты асимметрии  $\beta_1$  и коллинеарности  $\beta_2$  в индивидуальных актах соударений:  $\beta_k = \frac{n_\ell}{\sum_{i \neq j} \cos k \epsilon_{ij}} \sqrt{n_\ell (n_\ell - 1)}$ , где  $k = 1, 2$ ;  $n_\ell \geq 2$  - множественность частиц типа  $\ell$  в событии и  $\epsilon_{ij} = \arccos(\vec{r}_i \vec{r}_j / r_i r_j)$ ,  $0 \leq \epsilon_{ij} \leq \pi$ , есть парный азимутальный угол между векторами поперечных импульсов  $\vec{r}_i, \vec{r}_j$   $i$ -той и  $j$ -той вторичных заряженных частиц из одного акта взаимодействия.

2. Угол  $\Phi_{ij}$  между суммарными векторами, составленными из единичных векторов, направленных по поперечным импульсам частиц каждой группы, т.е. угол между направлениями преимущественного

исходя из угловых распределений  $S$ -частиц в изучаемых взаимодействиях в предположении  $\langle p_{1,S} \rangle^{\text{max}} \approx 0,5$  ГэВ/с.

/В/ Множественность нейтральных пионов равна половине множественности заряженных, а энергия - энергии заряженных.

/Г/ Средняя кинетическая энергия  $g$ -частиц приблизительно одинакова при полном разрушении ядер (Br, Ag) и Pb /4/.

В результате для средних коэффициентов неупругости было получено  $K[{}^{12}\text{C}(\text{Br, Ag})] = 0,4 \pm 0,1$ ,  $K[{}^{12}\text{C}(\text{Pb})] = 0,5 \pm 0,1$  и  $K[{}^4\text{He}(\text{Pb})] \geq 1,0$ .

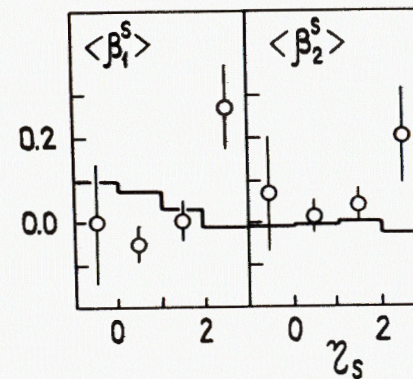


Рис.1. Зависимость средних значений коэффициентов асимметрии  $\beta_1$  и коллинеарности  $\beta_2$  и квазибыстроты  $\eta_S$  /кружки - эксперимент, гистограмма - расчет по КИМ/.

испускания двух групп частиц из одного акта соударения:

$$\Phi_{ij} = \arccos \{ (a_i a_j + b_i b_j) [(a_i^2 + b_i^2)(a_j^2 + b_j^2)]^{-1/2} \},$$

$$a_{i,j} = \sum_{\ell=1}^{n_{i,j}} \cos \Psi_{\ell}, \quad b_{i,j} = \sum_{\ell=1}^{n_{i,j}} \sin \Psi_{\ell},$$

где  $\Psi$  - обычный азимутальный угол, отсчитываемый от любой плоскости, связанной с измерительным прибором.

На рис.1 приведены средние значения  $\beta_1$  и  $\beta_2$  /кружки - эксперимент, гистограмма - расчет по каскадно-испарительной модели КИМ/ для  $S$ -частиц в разных кинематических областях, характеризуемых переменной  $\eta_S = \ln \cotg \Theta/2$  /квазибыстрота/, где  $\Theta$  - угол эмиссии  $S$ -частиц в л.с.к.

Интересным свойством этих данных является тот факт, что существуют события с довольно большой степенью коллинеарности ( $\beta_2 > 0$ ) в области  $\eta_S \leq 2,3$ , куда больший вклад дают протоны от налетающего ядра. Если бы это было следствием сохранения полного поперечного импульса внутри этой группы частиц, то мы бы ожидали, что  $\beta_1 < 0$ . В действительности ситуация иная и наблюдается заметная доля соударений с  $\beta_1 > 0$  /рис.1/. В отличие от этого, каскадный механизм предсказывает для такой области установление полной изотропии, по-видимому, из-за двух факторов: большого числа внутриядерных соударений и отсутствием /в этой области/ эффекта экранировки /7/. Более того, анализ поведения зависимости  $\langle \Phi_{sh} \rangle$  от  $\eta_S$  показал /рис.3/, что с переходом в область малых углов усиливается тенденция к противоиспусканию  $S$ -частиц и фрагментов ядра-мишени. Таким образом, приведенные факты указывают на возможное проявление эффекта отскока, предсказанного и наблюдаемого в гидродинамических теориях /напр. /7/ /.

Чтобы убедиться в этом, продолжаем наш анализ /табл. 2/. Если отобрать события так, чтобы коэффициент  $\beta_2$  для  $S$ -частиц

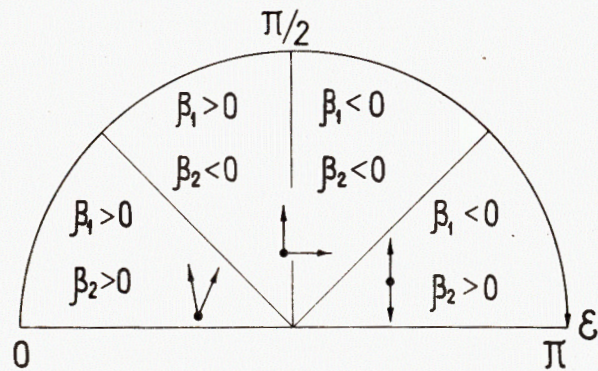


Рис.2. Схема, показывающая возможные значения коэффициентов  $\beta_1, \beta_2$  в плоскости парного азимутального угла  $\epsilon$ .

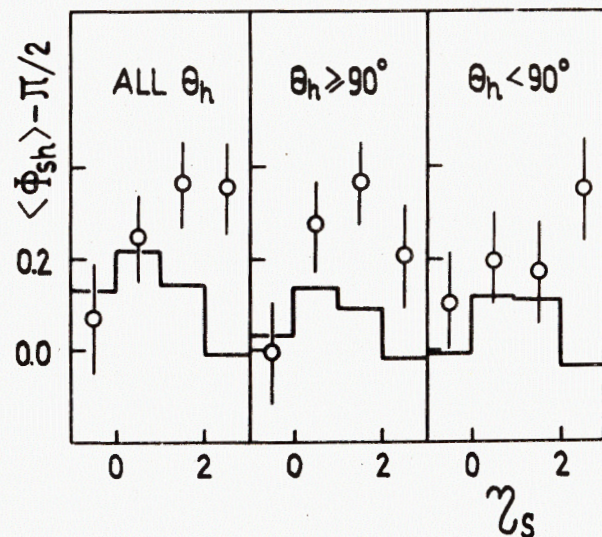


Рис.3. Зависимость угла  $(\langle \Phi_{Sh} \rangle - \frac{\pi}{2})$  от  $\eta_S$  для всех  $h$  частиц и для  $h$ -частиц, летящих в заднюю и переднюю полусферы в л.с.к.

Таблица 2  
Средние значения коэффициентов  $\beta_1^S$  и углы  $\langle \Phi_{Sh} \rangle - \frac{\pi}{2}$  для  $S$  частиц с  $\eta_S \in 2,3$  и значения коэффициентов  $\beta_1^S$  и  $\beta_2^S$  для  $S$  частиц вне этого интервала квазибыстрот для групп событий с положительным и отрицательным значением коэффициента коллинеарности  $\beta_2^S \cdot (\eta_S \in 2,3)$ .

$\beta_2^S$ $\eta_S \in 2,3$	$\beta_1^S$ $\eta_S \in 2,3$	$\langle \Phi_{Sh} \rangle - \pi/2$ $\eta_S \in 2,3$ $\theta_h = \text{ALL}$	$\beta_1^S$ $\eta_S \notin 2,3$	$\beta_2^S$ $\eta_S \notin 2,3$
>0	$0.47 \pm 0.18$	$0.51 \pm 0.15$	$0.00 \pm 0.02$	$0.02 \pm 0.02$
<0	$-0.02 \pm 0.11$	$0.33 \pm 0.18$	$0.00 \pm 0.02$	$0.02 \pm 0.02$

с  $\eta_S \in 2,3$  принимал положительные значения, то усиливается тенденция к противонаправлению  $S$ - и  $h$ -частиц в сравнении с событиями, где  $\beta_2$  ( $\eta_S \in 2,3$ )  $< 0$  и коэффициент асимметрии  $\beta_1$  для таких событий принимает высокие положительные значения. С другой стороны, коэффициенты  $\beta_1$  и  $\beta_2$  для  $S$ -частиц вне интервала  $\eta_S \in 2,3$  не зависят от значений  $\beta_2$  ( $\eta_S \in 2,3$ ) и принимают нулевые значения.

Таким образом представленные нами данные указывают на возможность реализации в центральных  $^{12}\text{Cp}b$ -соударениях коллективных эффектов, например, гидродинамического типа. Возбуждение компрессионных степеней свободы может также привести к наблюдаемому в настоящем опыте подавлению мезообразования и уменьшению коэффициента неупругости.

Авторы благодарят Ж.Ж.Мусульманбекова за предоставление возможности провести расчеты по его версии КИМ<sup>18/</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ахроров О. и др. ОИЯИ, P1-9963, Дубна, 1976.
2. Abdo K.M. et al. JINR, E1-8021, Dubna, 1974. Далхажав Н. и др. ЯФ, 1976, 23, с. 1210.
3. Марин А. и др. ЯФ, 1979, 29, с. 105. Adamovich M.I. et al. JINR, E1-10838, Dubna, 1977.
4. Tolstov K.D. Z.Phys.A-Atoms and Nuclei, 1981, 301, p. 339.
5. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, P1-81-176, Дубна, 1981.
6. Басова Е.С. и др. ЯФ, 1983, 37, с. 123.
7. Csernai L.P. et al. Phys.Rev., 1982, C25, p. 2482.
8. Барашенков В.С., Жереги Ф.Г., Мусульманбеков Ж.Ж. ОИЯИ, P2-83-117, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 июля 1984 года.

Вокал С. и др.

P1-84-552

Полное разрушение ядер свинца ядрами  $^{12}\text{C}$  при импульсе  
4,5 А ГэВ/с

Представлены экспериментальные данные о полном разрушении ядер свинца ядрами  $^{12}\text{C}$  и проведено сравнение с  $^4\text{HePb}$ -соударениями при одинаковом импульсе 4,5 А ГэВ/с. Показано, что коэффициенты неупругости в этих взаимодействиях существенно зависят от массы-снаряда и слабо - от массы мишени. Изучены корреляции между различными вторичными заряженными частицами в азимутальной плоскости  $^{12}\text{CPb}$ -соударения /с  $N_h \geq 50$ / и проведено их сравнение с расчетами в рамках каскадно-испарительной модели. Полученные результаты указывают на возможное проявление гидродинамического эффекта "отскока".

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод авторов

Wokal S. et al.

P1-84-552

The Total Desintegration of Lead Nuclei by  $^{12}\text{C}$  Nuclei  
at a Momentum of 4.5 А GeV/c

In this paper experimental data on the total desintegration of lead nuclei by  $^{12}\text{C}$  nuclei are presented and a comparison with  $^4\text{HePb}$  collisions at the same momentum of 4.5 GeV/c is made. It is shown that inelasticity coefficients in these interactions depend essentially on the mass of primary nucleus and weakly on the target-mass. Correlations between different types of secondary charged particles in the azimuthal plane of  $^{12}\text{CPb}$  collisions (with  $N_h \geq 50$ ) were studied, and a comparison with calculations in the frame of the cascade-vaporation model was made. The results obtained point to a possible of the hydrodynamic "bounce-off" effect.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984