

**ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР
ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С ЯДРАМИ Ag, Br
С МАКСИМАЛЬНЫМ ЧИСЛОМ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ НУКЛОНОВ**

*Д.Г.Баранов, В.Г.Бобков, В..В.Варюхин,
Ю.Ф.Гагарин, Н.С.Иванова, В.Н.Куликов, В.И.Лягушин,
В.Е.Мышкин, И.Г.Хилито, Е.А.Якубовский*

Анализируются взаимодействия релятивистских ядер с максимальным числом взаимодействующих нуклонов, доступным в настоящее время. Приведены энергетические спектры и угловые распределения заряженных частиц с энергией < 500 Мэв в различных диапазонах энергии.

Данная работа выполнена в связи с гипотезами [1 - 4] о возможности возникновения ударной волны с увеличением плотности ядерной материи в $3 \div 7$ раз во взаимодействиях ядер высокой энергии. Так как наиболее благоприятные условия применимости гидродинамического подхода возникают в столкновениях с участием наибольшего числа нуклонов, важно экспериментально выделить такие события и изучить их особенности.

Исследовались 45 взаимодействий ядер космических лучей с энергией ≥ 1 Гэв/нукл и зарядом $Z > 10$ с ядрами Ag, Br в релятивистской эмульсии. События отобраны по критерию $N_h \geq 28^{1)}$ [5 - 7], что соответствует выделению столкновений ядер с числом взаимодействующих нуклонов падающего ядра $n_{ВЗ} \gtrsim 20$. Из 45 событий 27 вызваны ядрами с $Z = 22 \div 26$.

В работе [4] были обнаружены пики в угловых распределениях частиц из ядра-мишени ($E_p < 28$ Мэв, $E_\alpha < 200$ Мэв/нукл), которые интерпретировались как проявление ударной волны Маха, возникающей в ядроядерных взаимодействиях. Тип и энергия частиц не идентифицировались и предполагалось, что основной вклад в пики дают α -частицы с энергией $E_\alpha = 30 \div 200$ Мэв/нуклон.

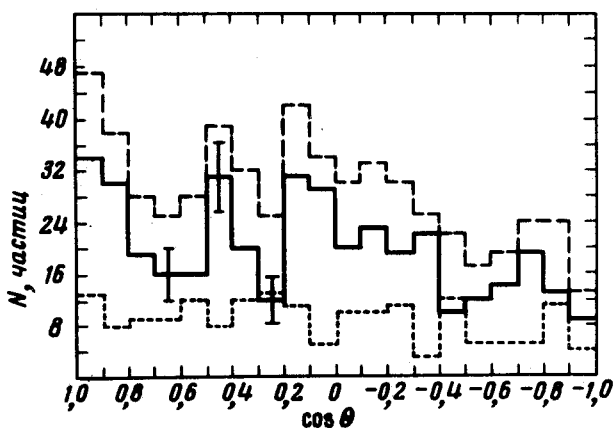


Рис. 1. Угловое распределение заряженных частиц малой энергии из ядра-мишени с ионизацией, соответствующей пробегу протонов < 4 мм ($E_p < 31$ Мэв; $E_\alpha < 220$ Мэв/нукл, черные треки), во взаимодействиях ядер с $Z = 10 \div 26$ с полным расщеплением ядер Ag, Br ($N_h \geq 28$): - - - 45 событий;

575 частиц, — 25 событий с $n_{ВЗ} \sim 20$; 399 частиц, $N_h \geq 13$,
 20 событий с $n_{ВЗ} \gtrsim 30 \div 40$; 176 частиц, $N_h \leq 12$

В нашей работе проводился анализ каждой вылетающей сильноионизирующей частицы по пробегу и ионизации. В угловых распределениях протонов и α -частиц с энергиями $E_p < 31$ Мэв и $E_\alpha < 200$ Мэв/нукл, полученных для всех 45 взаимодействий, наблюдаются некоторые нерегулярности (рис. 1, пунктирная гистограмма). Однако, для выделенной группы событий с большим числом взаимодействующих нуклонов $n_{ВЗ} \gtrsim 30$ эти нерегулярности отсутствуют (рис. 1, точечная гистограмма, 20 со-

¹⁾ $N_h = N_g + N_b$, где N_g — число протонов с энергией 31 Мэв $< E < 500$ Мэв; N_b — число протонов и α -частиц с энергиями $E_p < 31$ Мэв, $E_\alpha < 220$ Мэв/нукл.

бытий). Наблюдаемый эффект обусловлен группой событий, где, по нашим оценкам, $n_{\text{вз}} \sim 20$ (рис. 1 сплошная гистограмма, 25 событий)¹⁾. Нерегулярности проявляются, в основном, в распределениях медленных частиц, $E_{p,\alpha} < 31 \text{ Мэв/нукл}$, так как доля α -частиц с энергией $E = 31 + 200 \text{ Мэв/нукл}$ составляет всего $\sim 15\%$.

Угловые распределения измерялись для разных интервалов энергии вылетающих частиц и разных групп падающих ядер (рис. 2). В области малых энергий некоторый избыток частиц в интервале углов $0 \div 37^\circ$ обусловлен взаимодействиями ядер с $Z = 10 \div 20$ (рис. 2, I, a), а в интервале $60 - 66^\circ$ — взаимодействиями ядер с $Z = 20 \div 26$ (рис. 2, II a). Имеется указание на избыток протонов с энергией $31 + 200 \text{ Мэв}$ в интервале $60 \div 79^\circ$ (рис. 2, II, б).

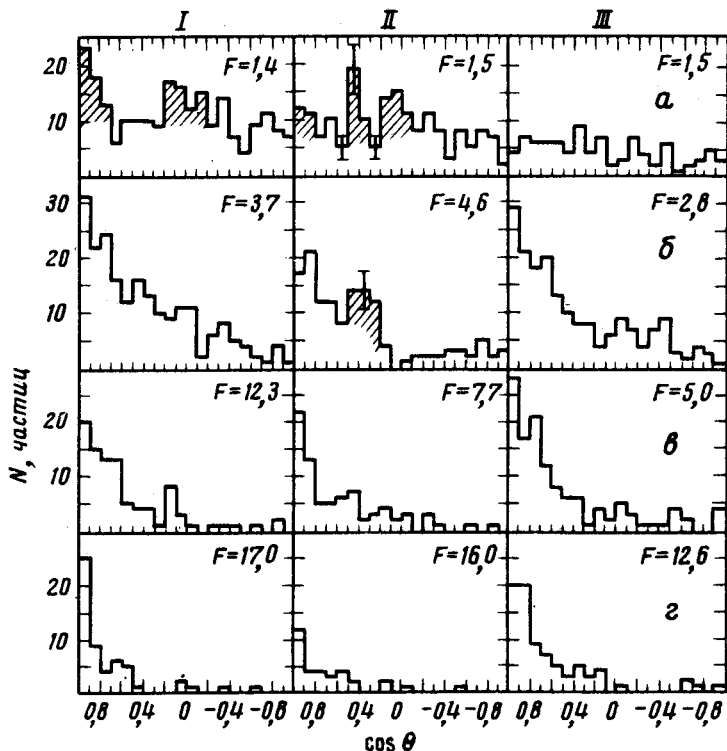


Рис. 2. Угловые распределения заряженных частиц с энергией по протонам $< 500 \text{ Мэв}$ в событиях с числом нуклонов падающего ядра, попадающих в ядро-мишень, $n_{\text{вз}} \sim 20$ (I, II) и $n_{\text{вз}} \geq 40$ (III). Энергия заряженных частиц: а — $0 \div 31 \text{ Мэв}$; б — $31 + 200 \text{ Мэв}$; в — $200 + 380 \text{ Мэв}$; г — $380 + 500 \text{ Мэв}$. I — падающие ядра с $Z \leq 20$ и с $N_b \geq 13$; 15 взаимодействий, II — падающие ядра с $Z = 22 \div 26$ и с $N_b \geq 13$; 11 взаимодействий, III — падающие ядра с $Z = 22 + 26$ и с $N_b \leq 12$; 11 взаимодействий. F — отношение числа частиц в передней и задней полусферах относительно направления движения падающего ядра

¹⁾ Для этой группы имеется статистически значимое отличие ($p(x^2) = 0,015$) от изотропного распределения, построенного с учетом наблюдаемого отношения частиц, вылетающих в переднюю и заднюю полусферы.

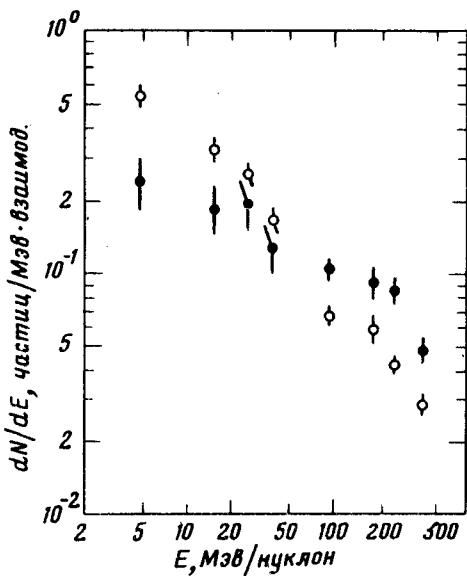


Рис. 3. Энергетическое распределение заряженных частиц с энергией по протонам $< 500 \text{ Мэв}$: \bullet — события с числом нуклонов падающего ядра, попадающих в ядро-мишень, $n_{\text{ВЗ}} \geq 40$; 11 событий, \circ — события с числом нуклонов падающего ядра, попадающих в ядро-мишень, $n_{\text{ВЗ}} \leq 30$; 34 события

Средние характеристики взаимодействий, в которых выявлены нерегулярности ($n_{\text{ВЗ}} \approx 20$), даны в таблице (строка 1). Наблюдаемая в этих взаимодействиях направленность в переднюю полусферу протонов с $E_p = 31 \div 380 \text{ Мэв}$, $F = 5,5$ много больше, чем в расщеплениях с $N_h \geq 28$, вызванных протонами [8], π -мезонами [9], и легкими ядрами (d , α) [8], где $F = 2,6 \div 3$.

$n_{\text{ВЗ}}$	Число соб.	\bar{N}_{af}	\bar{N}_g	$F(Ng)$	\bar{N}_{gi}	\bar{N}_b	\bar{N}_{bf}	$\overline{n_s - Z}$
~ 20	25	$1,7 \pm 0,2$	$23,2 \pm 1,0$	$5,8 \pm 0,6$	$3,2 \pm 0,4$	$14,6 \pm 0,8$	$1,0 \pm 0,2$	$14,1 \pm 1,1$
≥ 40	11	$0,5 \pm 0,2$	$34,5 \pm 1,8$	$4,2 \pm 0,6$	$6,1 \pm 0,8$	$8,3 \pm 0,9$	$0,4 \pm 0,2$	$39,8 \pm 2,3$

Нами выделена и исследована группа взаимодействий (II событий), которые имеют характеристики, позволяющие отнести их к событиям с максимальным числом нуклонов, $n_{\text{ВЗ}} \geq 40$, попадающих в ядро-мишень. В этих событиях по сравнению с остальными наблюдаются (см. таблицу, строка 2): меньшее число α -частиц и фрагментов падающего ядра \bar{N}_{af} , которые характеризуют степень его расщепления; большее число протонов с энергией $31 \div 500 \text{ Мэв}$, являющихся, в основном, протонами отдачи \bar{N}_g ; большее число \bar{N}_{gi} протонов с энергией $380 \div 500 \text{ Мэв}$, которые могут быть отнесены, в основном, к провзаимодействовавшим протонам падающего ядра; меньшее число малоэнергичных частиц \bar{N}_b и фрагментов с $Z \geq 4$ \bar{N}_{bf} из ядра-мишени; большая множественность рождающихся мезонов $(\overline{n_s - Z})^1$.

Основными особенностями группы взаимодействий с $n_{\text{ВЗ}} \sim 40$ по сравнению с событиями, где $n_{\text{ВЗ}} \sim 20$, являются меньшая направленность

¹⁾ n_s — число заряженных частиц с ионизацией $I > 1,4I_0$, где I_0 — наименьшая ионизация релятивистской однозарядной частицы.

в переднюю полусферу протонов с $E > 31 \text{ Мэв}$ ($F = 4,2$ и $5,8$, соответственно) и более жесткий энергетический спектр частиц с $E = 31 \div 500 \text{ Мэв}$ (рис. 3). Кроме того, в энергетическом спектре для событий с $n_{\text{ВЗ}} \sim 40$ отсутствует подъем в области малых энергий, характерный для спектра испарения. События с $n_{\text{ВЗ}} \sim 40$ являются особым типом полного расщепления ядер Ag, Вг с максимальной долей протонов с энергией $31 \div 500 \text{ Мэв}$ ($\sim 80\%$). Для этих взаимодействий не наблюдаются нерегулярности в угловых распределениях вторичных частиц под углом $60 \div 66^\circ$ (рис. 2, III, a), которые в работе [4] связывались с проявлением ударной волны Маха.

Жесткий энергетический спектр вторичных частиц, большая доля высокоэнергичных протонов в продуктах расщепления, относительно слабая их направленность в переднюю полусферу свидетельствуют о взрывном процессе расщепления ядер Ag, Вг за ядерное время. Для описания такого процесса, возможно, применим гидродинамический подход.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
29 ноября 1976 г.

Литература

- [1] G.F.Chapline, M.N.Johnson, E.Teller, M.S.Weiss. Phys. Rev., D8, 4302, 1973.
- [2] M.L.Sobel, P.J.Siemens, J.P.Bondorf, H.A.Bethe. Nucl. Phys., A251, 502, 1975.
- [3] A.A.Amsden, G.F.Bertsch, F.H.Harlow, J.R.Nix. Phys. Rev. Lett., 35, 905, 1975.
- [4] H.G.Baumgardt et al. Z. Physik, A273, 359, 1975.
- [5] Yu.F.Gagarin, N.S.Ivanova, V.N.Kulikov. 7^e Colloque Intern. de Photographie corpusculaire et des detecteurs visuels Solids, Compt. rendu, Barcelone, 2, 837, 1970.
- [6] Yu.F.Gagarin, N.S.Ivanova, V.N.Kulikov, V.E.Myshkin. 14th Intern. Cosmic Ray Conference, München, Germany. Conference Papers, 7, 2309, 1975.
- [7] В.В. Варюхин, Ю.Ф.Гагарин, Н.С.Иванова, В.Н.Куликов, Д.Г.Баранов, Е.А.Якубовский. Изв. АН СССР, сер. физ. 40, 962, 1976.
- [8] К.Д.Толстов, Р.А.Хошмухамедов. Препринт ОИЯИ Р1-6897, Дубна 1973; К.Д.Толстов. Препринт ОИЯИ Р1-9286, Дубна 1975.
- [9] Ю.Ф.Гагарин, Н.С.Иванова, В.Е.Мышкин. Изв. АН СССР, сер. физ. 38, 988, 1974.