

Академик АН КазССР Ж. С. ТАКИБАЕВ, Э. Г. БООС, Г. Я. РУСЬКИНА

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОТОНОВ С ЯДРАМИ ЭМУЛЬСИИ
ПРИ ЭНЕРГИИ ~ 76 ГЭВ

В одном из эмульсионных слоев НИКФИ Р-2 (200 μ), облученных в 1968 г. во внутреннем пучке ускорителя Института физики высоких энергий (г. Серпухов) протонами с импульсом 76 Гэв/с, было найдено при поиске вдоль следов первичных частиц 159 протон-ядерных взаимодействий.

Средний пробег неупругих взаимодействий оказался равным $(37 \pm \pm 3)$ см, что согласуется с полученным ранее значением $\bar{\lambda} = (37,1 \pm \pm 0,5)$ см при импульсе первичных протонов 49,8 Гэв/с. Для выделения событий протон-нуклонного типа использованы критерии, изложенные в

работе (1). Взаимодействия с числом серо-черных следов $N_b > 6$ были отнесены к группе тяжелых ядер. Мы решили предварительно оценить влияние вклада от тяжелых ядер. Для этой цели рассматривалась отдельно группа звезд с останавливающимся следом $l < 65 \mu$, которая согласно данным работы (2) не может быть образована на тяжелых ядрах из-за влияния кулоновского барьера.

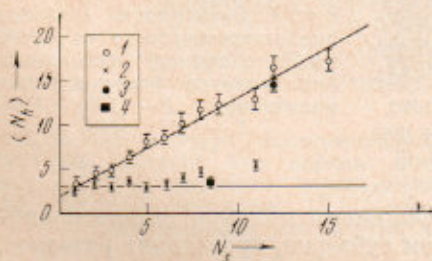


Рис. 1. Зависимость $\langle N_b \rangle$ от $\langle N_g \rangle$ для группы тяжелых (1, 3) и легких (2, 4) ядер; 3, 4 — наши данные

В табл. 1 приведены средние значения числа черных N_b , серых N_g и тонких N_s следов во взаимодействии. Среднее число ливневых частиц

$\langle N_s \rangle$ и частиц испарения $\langle N_e \rangle$ в пределах ошибок не изменяется, число серых следов, соответствующих каскадным нуклонам, быстро увеличивается при изменении пробега l останавливающегося следа.

В табл. 2 приведены $\langle N_s \rangle$, $\langle N_g \rangle$, $\langle N_b \rangle$ и $\langle N_b \rangle + \langle N_g \rangle$ для различных групп ядер при энергии 76 Гэв. Наблюдается сильная зависимость между числом серых и черных следов. На рис. 1 приведено сравнение зависимости $\langle N_b \rangle$ от $\langle N_g \rangle$ для легких и тяжелых ядер эмульсии с данными, полученными при меньших энергиях (3). Видно, что данные по корреляции между числом черных и серых следов согласуются с результатами, полученными при меньших энергиях. Резкая зависимость средних значений $\langle N_b \rangle$ от $\langle N_g \rangle$, приведенная в табл. 2, как видно из рис. 1, целиком обусловлена вкладом тяжелых ядер.

Множественность при переходе от взаимодействий протонов с нуклонами к взаимодействиям протонов с тяжелыми ядрами эмульсии (Ag, Br) увеличивается более чем в полтора раза.

Таблица 1

Среднее число вторичных заряженных частиц различной понижающей способности во взаимодействиях, образовавшихся на легких ядрах эмульсии ($1 \leq N_n \leq 6$)

	$l > 65 \mu$	$l \leq 65 \mu$	Суммарно
$\langle N_b \rangle$	$2,65 \pm 0,18$	$2,73 \pm 0,22$	$2,68 \pm 0,14$
$\langle N_g \rangle$	$0,72 \pm 0,13$	$0,43 \pm 0,13$	$0,60 \pm 0,09$
$\langle N_n \rangle$	$3,37 \pm 0,21$	$3,16 \pm 0,22$	$3,28 \pm 0,15$
$\langle N_e \rangle$	$8,72 \pm 0,65$	$8,6 \pm 0,77$	$8,68 \pm 0,49$

В табл. 3 приводится сравнение наших данных (эксп.) с данными, рассчитанными по модели внутриядерного каскада при энергии 80 Гэв (³). Имеется хорошее согласие измеренных значений $\langle N_s \rangle$ для различных групп ядер с рассчитанными по модели величинами. Существенное расхождение наблюдается в числе «каскадных» нуклонов $\langle N_g \rangle$: экспериментальные значения в два раза меньше рассчитанных величин. Среднее число нуклонов испарения $\langle N_b \rangle$ также несколько меньше теоретически ожидаемых значений. Резкое уменьшение числа серых следов («каскадных» нуклонов) указывает на отличие действительной картины неупругих протон-ядерных взаимодействий при энергии 76 Гэв от представлений каскадной модели. Возможно, при энергии 76 Гэв уже существенную роль играет механизм гидродинамического типа.

На уменьшение возбуждения ядер при этой энергии указывает также зависимость $\langle N_h \rangle$ от кинетической энергии первичного нуклона E_n , приведенная на рис. 2. Начиная от энергии ~ 1 Гэв, число серо-черных следов $\langle N_h \rangle$ растет, достигает максимума в районе $E_n = 4$ Гэв, затем падает и в области энергии $E > 70$ Гэв остается постоянным вплоть до энергии $E_n \sim 1000$ Гэв (²).

Гидродинамическая модель приводит к степенной зависимости множественности от атомного номера ядра мишени $\langle N \rangle \sim A^{0,19}$ (⁴). При этом предполагается, что взаимодействие происходит с «трубкой» ядерной жидкости и коэффициент неупругости $K \sim 1$. В работе (⁵) нами было оценено, что доля $\Delta n/n$ нуклонов трубки, остающихся в ядре за характерное

Таблица 2

Неупругие протон-ядерные взаимодействия

	H — H*	Легкие ядра	Средние ядра	Тяжелые ядра		
				$6 < N_h \leq 16$	$N_h > 16$	$N_h \geq 6$
$\langle N_b \rangle$	$0,21 \pm 0,075$	$2,68 \pm 0,14$	$6,06 \pm 0,43$	$9,00 \pm 0,49$	$15,5 \pm 0,69$	$10,63 \pm 0,54$
$\langle N_g \rangle$	$0,03 \pm 0,018$	$0,60 \pm 0,09$	$1,40 \pm 0,15$	$1,82 \pm 0,25$	$4,35 \pm 0,59$	$2,48 \pm 0,27$
$\langle N_h \rangle$	$0,25 \pm 0,076$	$3,28 \pm 0,16$	$7,72 \pm 0,52$	$11,6 \pm 0,49$	$19,6 \pm 0,61$	$13,7 \pm 0,68$
$\langle N_s \rangle$	$7,3 \pm 0,7$	$8,68 \pm 0,50$	$10,15 \pm 0,43$	$11,2 \pm 0,74$	$14,7 \pm 1,39$	$12,1 \pm 0,54$

* Без учета однолучевых звезд.

Таблица 3

Сравнение данных по протон-ядерным взаимодействиям при энергии 76 Гэв с расчетами по каскадной модели (³)

E_n , Гэв	Легкие ядра		Средние ядра		Тяжелые ядра	
	расч.	эксп.	расч.	эксп.	расч.	эксп.
	80	76	80	76	80	76
$\langle N_s \rangle$	$7,0 \pm 0,4$	$8,7 \pm 0,5$	$9,7 \pm 0,5$	$10,2 \pm 0,4$	$11,8 \pm 0,6$	$12,1 \pm 0,5$
$\langle N_g \rangle$	$1,7 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$	$3,5 \pm 0,2$	$1,4 \pm 0,2$	$4,6 \pm 0,2$	$2,5 \pm 0,3$
$\langle N_b \rangle$	—	$2,7 \pm 0,1$	$8,2 \pm 0,4$	$6,1 \pm 0,4$	$11,7 \pm 0,6$	$10,6 \pm 0,5$

ядерное время $\tau \sim n/\mu$ (n — число нуклонов «трубки»), определяется коэффициентом неупругости нуклон-ядерных взаимодействий $\Delta n/n \simeq (1 - K)$. В рамках гидродинамической модели это приводит, в частности, к полному отсутствию каскадных процессов ($\Delta n/n \simeq 0$) и к большим множественностям N_s (⁵).

Этот вывод, полученный для ливней космических лучей в ядерной эмульсии при $E > 100$ Гэв подтверждается данными при ускорительных энергиях. В табл. 4 приводится сравнение отношений средней множествен-

ности $\langle N_s \rangle_{N-A}$ в различных ядрах к числу пионов в нуклон-нуклонных взаимодействиях $\langle N_s \rangle_{pN}$. Из табл. 4 видно, что в модели трубки ⁽⁴⁾ эти отношения сильно завышены.

На рис. 3 приведена зависимость $\langle N_s \rangle$ в нуклон-ядерных взаимодействиях от энергии первичного протона. Пунктирная линия соответствует эмпирической зависимости $\langle N_s \rangle_{p-A} \approx 0,65 \cdot E_K^{0,7}$, найденной в работе ⁽²⁾ в области энергии $E < 20$ Гэв. Видно, что при энергии 76 Гэв экспериментальные данные отличаются от этой кривой и указывают на заметное уменьшение показателя степени с ростом первичной энергии.

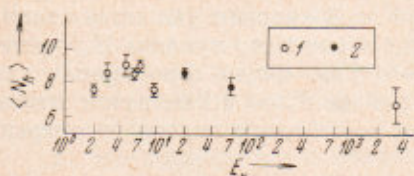


Рис. 2. Зависимость $\langle N_s \rangle$ от кинетической энергии первичного протона: 1 — данные ⁽²⁾, 2 — наши данные, полученные при энергиях 20 и 76 Гэв

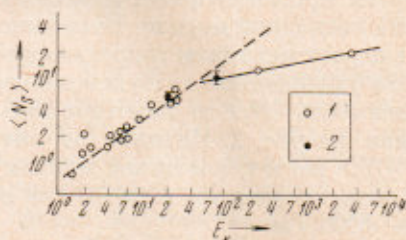


Рис. 3. Зависимость $\langle N_s \rangle$ от кинетической энергии первичного протона: 1 — данные других авторов, 2 — наши данные, полученные при энергиях 20 и 76 Гэв

Качественное объяснение наблюдаемых с эмульсии процессов при энергиях $E \geq 70$ Гэв можно, по-видимому, найти в рамках модели «полупрозрачной» трубки, когда неупругость меньше 1. Вследствие этого появляется

Таблица 4

Сравнение расчетных ⁽⁴⁾ и экспериментальных данных по протон-ядерным взаимодействиям

Ядра	$\langle N_s \rangle_{p-A} / \langle N_s \rangle_{pN}$		
	легкие	средние	тяжелые
Модель «трубки» ⁽⁴⁾	1,62	2,0	2,3
$E_K = 20$ Гэв ⁽¹⁾	$1,21 \pm 0,05$	$1,50 \pm 0,05$	$1,77 \pm 0,08$
$E_K = 76$ Гэв (наши данные)	$1,4 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$

возможность развития внутриядерного каскада от части нуклонов трубки $\Delta l \approx (1 - K)$, остающихся внутри ядра. Средняя энергия этих нуклонов в ядре $T_K \sim 1$ Гэв при $K \sim 0,5$ ⁽³⁾. Внутриядерный каскад, вызываемый такими нуклонами, не дает вклада в N_s , но достаточно сильно возбуждает ядро и может служить источником появления серых и черных следов в звездах. С другой стороны, число генерированных пионов в соударении «нуклон — трубка» уменьшается, и может быть достигнуто согласие с экспериментом.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность К. Д. Толстову, М. И. Чернявскому, В. А. Кузичеву, В. П. Анзону, М. Г. Антоновой, И. Кналику, Е. Херингу, А. А. Логунову, Р. М. Суляеву, Ю. Д. Прокошкину, Ю. М. Адо за участие в экспериментах и помощь в их проведении.

Институт физики высоких энергий
Академии наук КазССР
Алма-Ата

Поступило
24 XII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Э. Г. Боос и др., ЖЭТФ, 47, 2041 (1964). ² Н. Meyer et al., Nuovo cimento, 28, 1399 (1963). ³ В. С. Барашенков, И. З. Артёмов, Препринт ОИЯИ, P2-4510, 1969. ⁴ С. З. Белецкий, Л. Д. Ландау, УФН, 56, 309 (1955). ⁵ Э. Г. Боос, ЖЭТФ, 39, в. 3, 616 (1960).