

СЗ43Б + СЗ23.5

А-866

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

ЯФ, 1966, т. 4, вып. 1,
с. 156-160

31/viii-65

P-2279



И.З. Артыков, В.С. Барашенков, С.М. Елисеев

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
С АТОМНЫМИ ЯДРАМИ
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ $1 \div 30$ ГЭВ

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

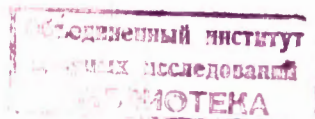
1965

P - 2279

И.З. Артыков, В.С. Барашенков, С.М. Елисеев

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
С АТОМНЫМИ ЯДРАМИ
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ $1 \div 30$ ГЭВ

Направлено в "Ядерную физику"



3504/1 мр.

В работах ряда авторов (см., например ^{/1-4/}, где можно найти дальнейшую библиографию) было показано, что во всей области энергий от нескольких десятков Мэв до нескольких Гэв основные черты взаимодействий элементарных частиц с атомными ядрами хорошо согласуются с моделью внутриядерного каскада с последующим испарением нуклонов, дейтронов и α -частиц из ядра-остатка, образовавшегося после прохождения каскадной стадии процесса. В наших работах ^{/5-7/} модель внутриядерных каскадов использовалась для объяснения экспериментальных данных вплоть до энергий $T \approx 30$ Гэв, где существенную роль играют процессы множественного рождения частиц внутри ядра. При этом также было получено вполне удовлетворительное согласие теоретических и известных в то время экспериментальных данных.

В настоящей работе приводятся более полные и уточненные результаты теоретических расчетов нуклон-ядерных взаимодействий для энергий $T = 6.2; 9; 17$ и 25 Гэв. Интерполяция этих данных позволяет легко получить соответствующие данные и для промежуточных значений энергии.

Все вычисления выполнены с помощью электронной счетной машины методом Монте-Карло с учетом релятивистской трехмерной кинематики. Множественность частиц, рождающихся в каждом акте неупругого внутриядерного π -N и N-N взаимодействий, определялась путем последовательного розыгрыша энергии рождающихся частиц по средним импульсным спектрам нуклонов и π -мезонов в системе центра масс до тех пор, пока их суммарная энергия $\sum_{i=1}^N E_i$ не становилась большей или равной полной энергии столкнувшихся частиц E_0 . Для того, чтобы обеспечить приближенное выполнение закона сохранения энергии, энергия последней частицы (π -мезона) в последующих расчетах полагалась равной разности $E_0 - \sum_{i=1}^N E_i$. При большой множественности рождающихся частиц вносимая этим ошибкой оказывается несущественной. Однако среднее число рождающихся частиц оказывается при таком способе расчета довольно чувствительным к конкретной форме используемых импульсных спектров. Поэтому в пределах, допустимых экспериментальными ошибками, эти спектры подбирались таким образом, чтобы средняя множественность частиц, рождающихся в π -N и N-N взаимодействиях всей области рассмотренных нами энергий $T < 30$ Гэв была близка к экспериментальной.

Число и характеристики частиц, вылетающих из возбужденного ядра-остатка, образовавшегося после прохождения внутриядерного каскада, рассчитывались по общепринятой модели (см., например, обзоры /8,9/) с параметром плотности уровней возбужденного ядра $\alpha = \frac{A}{20} \text{ Мэв}^{-1}$ (A - атомный номер ядра).

Остальные детали вычислений те же, что и в наших предыдущих работах /3-7/.

Результаты расчетов для среднего ядра фотоэмульсии вместе с соответствующими экспериментальными данными приведены в таблице 1.

Как видно, теоретические и экспериментальные значения хорошо согласуются.

В таблице 2 приведены аналитические средние данные для группы тяжелых ядер фотоэмульсии, где каскадный механизм внутриядерных взаимодействий и возможные отклонения от него должны проявляться особенно четко. В пределах указанных в таблице ошибок экспериментальные и теоретические величины оказываются близкими друг к другу.

Хорошее согласие теории с опытом наблюдается и для средних дифференциальных величин: распределений рождающихся частиц по углам и импульсам. Для группы тяжелых ядер фотоэмульсии также распределения приведены на рис. 1-3.

На рис. 4 указано среднее число сильно ионизирующих частиц $n_{\frac{+}{b}}$, рождающихся в звездах с различным числом заряженных ливневых частиц $n_{\frac{+}{a}}$. Здесь также имеет место хорошее согласие расчетного и экспериментального распределений.

Таким образом, данные настоящей работы вместе с результатами, приведенными в работах /5-7/, позволяют достаточно уверенно утверждать, что в области энергий вплоть до нескольких десятков Гэв взаимодействия элементарных частиц с атомными ядрами происходят в основном посредством каскадно-испарительного механизма. При сверхвысоких энергиях $T \geq 100$ Гэв ситуация, по-видимому, является более сложной, так как в этом случае существенное значение могут иметь многочастичные взаимодействия внутри ядра /20-21/. Этот вопрос в настоящее время изучается.

Л и т е р а т у р а

1. Ф.П. Денисов, Р.А. Латыпова, В.П. Милованов, П.А. Черенков; Ядерная физика, 1, 329 (1965).
2. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев, В.Д. Тонеев. Известия АН СССР (в печати); Препринт ОИЯИ, Р-1968, Дубна, 1965.
3. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев, В.Д. Тонеев; Известия АН СССР (в печати); Препринт ОИЯИ, Р-1970, 1965.
4. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев, В.Д. Тонеев; Известия АН СССР (в печати); Препринт ОИЯИ, Р-1978, 1965.

5. V.S.Barashenkov, V.A.Beliakov, V.V.Glagolev, N.Dalkhazhav, Yao Tsyng Se, L.E.Kirilova, R.N.Lebedev, V.M.Maltsev, P.K.Markov, M.G.Shafranova, K.D.Tolstov, E.N.Tzyganov, Wang Shou Feng. Nucl. Phys., 14, 522 (1959/60).
6. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev, E.K.Mikhul. Nucl.Phys., 24, 642 (1961).
7. V.S.Barashenkov, A.B.Boyadhijev, L.A.Kulyukina, V.M.Maltsev. Nucl.Phys., 55, 79 (1964)
8. К.Дж. Ле Кутер. Статья в сборнике "Ядерные реакции". Госатомиздат, 1962.
9. Н.А. Перфилов, О.В. Ложкин, В.П. Остроумов. Ядерные реакции под действием частиц высоких энергий. Изд-во АН СССР, 1962.
10. H.W.Winzeler, B.Klaiber, W.Koch, M.Nikolic, M.Schneeberger. Nuovo Cim., 17, 8 (1960).
11. P.L.Jain, H.C.Glahe. Phys. Rev., 116, 458 (1959).
12. C.Bricman, M.Csejthey, Barth, J.P.Lagnaux, L.Sacton. Nuovo Cim., 20, 1017(1961).
13. Э.Г. Боос, Н.П. Павлова, Ж.С. Такибаев, Т. Темиралнев, Р.А. Турсунов. ЖЭТФ, 47, 2041 (1961).
14. A.Barbaro-Galtieri, A.Manfredini, B.Ouassati, C.Castagnoli, A.Gainotti, L.Ortali. Nuovo Cim., 21, 469 (1961).
15. Y.K.Lim. Nuovo Cim., 26, 1221 (1962).
16. G.Cvijanovich, B.Dayton, P.Egli, B.Klaiber, W.Koch, Nikolic, R.Schneeberger, H.Winzeler. Nuovo Cim., 20, 1012 (1961).
17. K.Garbowska, T.Saniewska, F.Skrzypczak, P.Zielinski. Nucl.Phys., 60, 654 (1964).
18. J.Bogdanowicz, P.Ciok, Z.Galster, T.Saniewska, P.Zielinski. Nucl. Phys., 40, 270 (1963).
19. H.Meyer, M.W.Teucher, E.Lohmann. Nuovo Cim., 28, 1399 (1963).
20. В.С. Барашенков, С.М. Елисеев. Препринт ОИЯИ, P-1706, Дубна, 1964.
21. А.М. Лебедев, С.А. Славатинский, В.В. Соколовский. Известия АН СССР, 29, 9 (1965).

Рукопись поступила в издательский отдел
17 июля 1965 г.

Т а б л и ц а 1

Средние характеристики частиц, рождающихся при взаимодействии протонов с ядрами фотоэмульсии (в расчете на среднее ядро фотоэмульсии Ga⁷⁰)

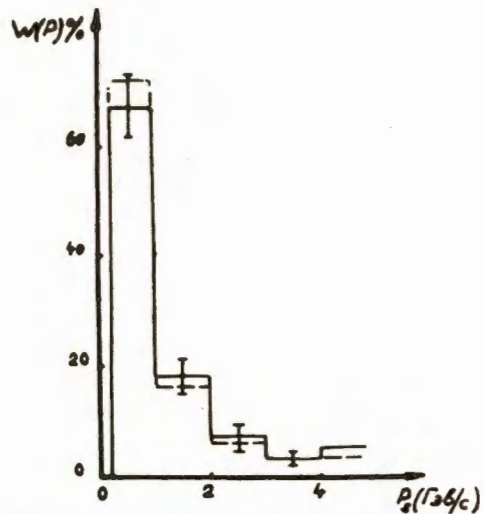
Характеристика	Теория		Опыт		Теория		Опыт	
	Теория	Опыт	Теория	Опыт	Теория	Опыт	Теория	Опыт
n	$4,4 \pm 0,2$		$5,3 \pm 0,3$		$8,8 \pm 0,5$		$10,8 \pm 0,6$	
n_a	$4,0 \pm 0,2$		$5,4 \pm 0,3$		$5,9 \pm 0,3$		$7,3 \pm 0,4$	
n_b	$7,3 \pm 0,3$		$7,1 \pm 0,4$		$7,0 \pm 0,4$		$6,6 \pm 0,4$	
n_{\pm}	$2,80 \pm 0,15$	$2,65 \pm 0,10 / 10 / 2,7 \pm 0,2 / 11 /$	$3,4 \pm 0,2$	$3,2 \pm 0,2 / 5 /$	$5,5 \pm 0,3$	$5,89 \pm 0,06 / 13 /$	$6,9 \pm 0,4$	$6,6 \pm 0,1 / 14 / 5,5 \pm 0,2 / 15 / 3,9 \pm 0,4 / 15 /$
\pm	$2,10 \pm 0,15$		$2,9 \pm 0,2$	$3,1 \pm 0,4 / 5 /$	$3,1 \pm 0,2$		$3,9 \pm 0,2$	
n_{\pm}^a			$5,4 \pm 0,4$	$4,7 \pm 0,5 / 5 /$				$6,7 \pm 0,2 / 15 / 8,4 / 16 /$
n_{\pm}^b			$8,3 \pm 0,4$	$8,3 \pm 0,6$	$8,3 \pm 0,9 / 12 /$	$9,7 \pm 0,6$	$8,9 \pm 0,5$	$2,3 \pm 0,2 / 14 /$
n_{\pm}^c								
$\Gamma', \Gamma_{\text{Гэв}}$	$0,70 \pm 0,05$		$0,85 \pm 0,05$	$1,0 \pm 0,2 / 5 /$	$1,3 \pm 0,1$		$2,0 \pm 0,1$	
$\Gamma_a, \Gamma_b, \Gamma_c$	$0,15 \pm 0,01$		$0,13 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,01 / 5 /$	$0,15 \pm 0,01$		$0,14 \pm 0,01$	
Γ_{\pm}	$0,013 \pm 0,001$		$0,013 \pm 0,001$	$0,011 \pm 0,001 / 5 /$	$0,013 \pm 0,001$		$0,014 \pm 0,001$	
$P_{L_a}, P_{L_b}, P_{L_c}$	$0,40 \pm 0,02$		$0,40 \pm 0,02$	$0,37 \pm 0,07 / 5 /$	$0,42 \pm 0,02$		$0,42 \pm 0,02$	
$\theta_{\text{Гэв/с}}$	$0,33 \pm 0,02$		$0,34 \pm 0,02$	$0,35 \pm 0,02 / 5 /$	$0,31 \pm 0,02$		$0,32 \pm 0,02$	
$\theta_{\text{Гэв/с}}$	$0,12 \pm 0,01$		$0,12 \pm 0,01$	$25 \pm 1,5 / 5 /$	20 ± 1		$0,11 \pm 0,01$	
$\theta_{\text{Гэв/с}}$	28 ± 2	$27 \pm 1 / 10 / 26 \pm 2 / 11 /$	26 ± 2				18 ± 1	$20 \pm 1,8 / 15 /$
$\theta_{\text{Гэв/с}}$	70 ± 4		68 ± 4	$65 \pm 3 / 5 /$	60 ± 3		53 ± 3	
$\theta_{\text{Гэв/с}}$	81 ± 4		80 ± 4		87 ± 4		77 ± 4	

Γ — энергия первичного протона в лабораторной системе координат; Γ' — средняя кинетическая энергия рождающихся частиц; n_{\pm} — среднее число рождающихся заряженных частиц; $\Gamma_{\text{Гэв}}$ — средняя кинетическая энергия рождающихся частиц в лабораторной системе координат; P_L — средний поперечный импульс рождающихся частиц; $\theta_{\text{Гэв}}$ — угол, в который в лабораторной системе координат вылетает половина всех рождающихся частиц. Индексами а, б и в отмечены величины, относящиеся соответственно к частицам с релятивистскими, серыми и черными следами (критерии отбора таких следов см. в работе /8/); $n_{\pm}^a, n_{\pm}^b, n_{\pm}^c$ — число сильноионизирующих частиц.

Т а б л и ц а 2

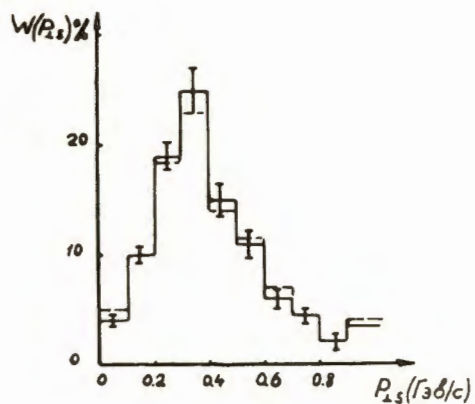
Средние характеристики частиц, рождающихся при взаимодействии 25-Гэвных протонов с группой тяжелых ядер фотоэмульсии (Ag¹⁰⁸ и Br⁸⁰). Все обозначения имеют тот же смысл, что в таблице 1

Характеристика	Т е о р и я	О п ы т
n	$11,6 \pm 0,3$	
n_a	$13,9 \pm 0,4$	
n_b	$9,8 \pm 0,3$	
n_{\pm}^a	$7,8 \pm 0,2$	$8,6 \pm 0,8 / 18 /$
n_{\pm}^b	$7,4 \pm 0,2$	$7,2 \pm 0,7 / 18 /$
n_{\pm}^c	$15,8 \pm 0,8$	$13 \pm 0,3 / 13 / 15,4 \pm 1,5 / 18 /$
$\Gamma_{\text{Гэв}}$	$1,8 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,2 / 17 /$
$\Gamma_a, \Gamma_b, \Gamma_c$	$0,130 \pm 0,010$	
$P_{L_a}, P_{L_b}, P_{L_c}$	$0,013 \pm 0,001$	
$\theta_{\text{Гэв/с}}$	$0,5 \pm 0,01$	$0,48 \pm 0,02 / 17 /$
$\theta_{\text{Гэв/с}}$	$0,33 \pm 0,02$	
$\theta_{\text{Гэв/с}}$	$0,11 \pm 0,01$	
$\theta_{\text{Гэв/с}}$	20 ± 1	
$\theta_{\text{Гэв/с}}$	65 ± 3	$60 \pm 6 / 18 /$
$\theta_{\text{Гэв/с}}$	84 ± 4	

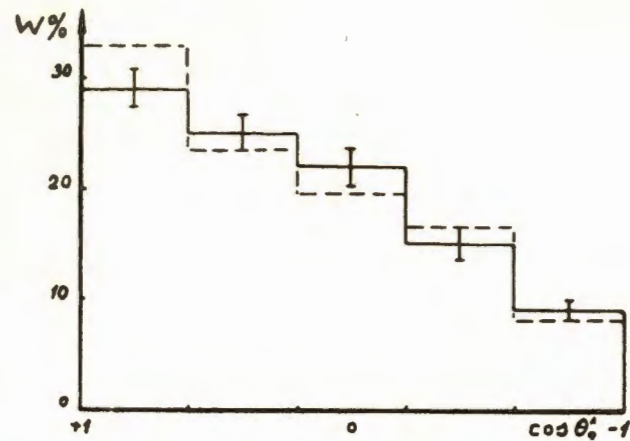


Р и с. 1. Импульсное распределение ливневых частиц, рождающихся при взаимодействии протона с энергией 25 Гэв со средним тяжелым ядром фотоэмульсии.

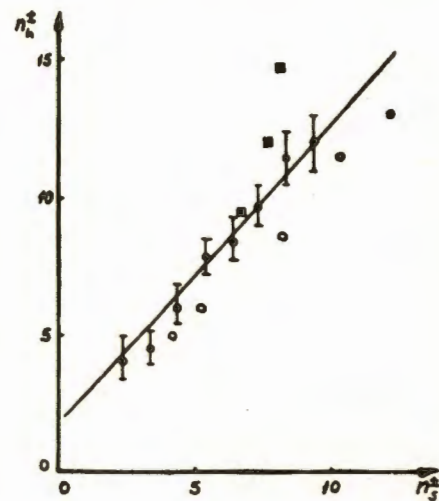
Пунктир - теория, сплошная - гистограмма взята из экспериментальной работы /17/.



Р и с. 2. То же, что и на рис. 1. Распределение по поперечной компоненте P_{\perp} .



Р и с. 3. Угловое распределение серых треков в звездах, образовавшихся при взаимодействии 25-Гэвного протона со средним тяжелым ядром фотоэмульсии. Пунктир-теория, сплошная гистограмма-экспериментальные данные из работы /18/.



Р и с. 4. Корреляция числа сильно ионизирующих частиц n_h^+ и числа заряженных ливневых частиц n_s^+ в звездах, образовавшихся при взаимодействии протонов с энергией 25 Гэв с ядрами Ag и Br в фотоэмульсии. Полные кружки - теория, заштрихованные кружки - эксперимент /19/.