

УДК 537.591.15

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АЛЬФА-ЧАСТИЦЫ С ЯДРОМ АТОМА ЖЕЛЕЗА ПРИ ЭНЕРГИИ 100 ТэВ/нуклон

А. В. Апанасенко, А. А. Горячих, И. С. Заярная, С. Я. Шаламова

Приводятся характеристики двух последовательных взаимодействий альфа-частицы с ядрами атомов железа при энергии ~ 100 ТэВ/нуклон и обсуждаются возможные механизмы взаимодействия. Дается сравнение с более ранними результатами экспериментов со стратосферными рентгеноэмульсионными камерами. Приводятся результаты измерений энергий и поперечных импульсов гамма-квантов.

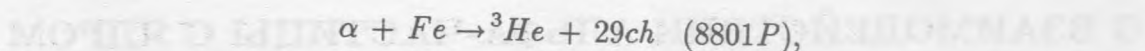
Эксперименты с рентгеноэмульсионными камерами (РЭК), экспонируемыми в стратосфере, дают возможность изучать характеристики индивидуальных взаимодействий протонов и ядер космических лучей с ядрами при энергиях, превышающих ускорительные [1, 2].

В настоящей работе обсуждаются результаты измерений двух последовательных взаимодействий ядер ${}^4\text{He}$ и ${}^3\text{He}$ с энергией ~ 100 ТэВ/нуклон с ядром атома Fe , зарегистрированных в РЭК.

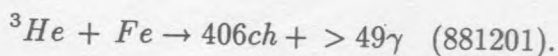
Камера состояла из двух блоков – мишенного (М) и гамма-блока (Г). Блок М был сложен из двенадцати миллиметровых стальных пластин, разделенных листами пенопласта толщиной 5 мм. Детекторами излучения являлись тонкослойные ядерные эмульсии типа Р-2Т-50, находящиеся под каждым слоем Fe и пенопласта. Г-блок содержал три свинцовые пластины по 5,5 мм толщиной, переложенные рентгеновскими пленками и ядерными эмульсиями.

Поиск событий начинался с просмотра рентгеновских пленок в Г-блоке. В нижнем слое рентгеновской пленки было найдено пятно почернения, соответствующее электромагнитному каскаду высокой энергии.

Прослеживание этого события через весь Г-блок в ядерные эмульсии блока М привело к последовательным взаимодействиям: альфа-частицы в стальной пластине над пятой пленкой



где ch обозначает заряженные частицы, и затем фрагмента с зарядом $Z = 2$ в стальной пластине над девятой пленкой



Общий вид события в пятой, девятой пленках и после прохождения двух t -единиц в свинцовых пластинах Г-блока показан на рис. 1.

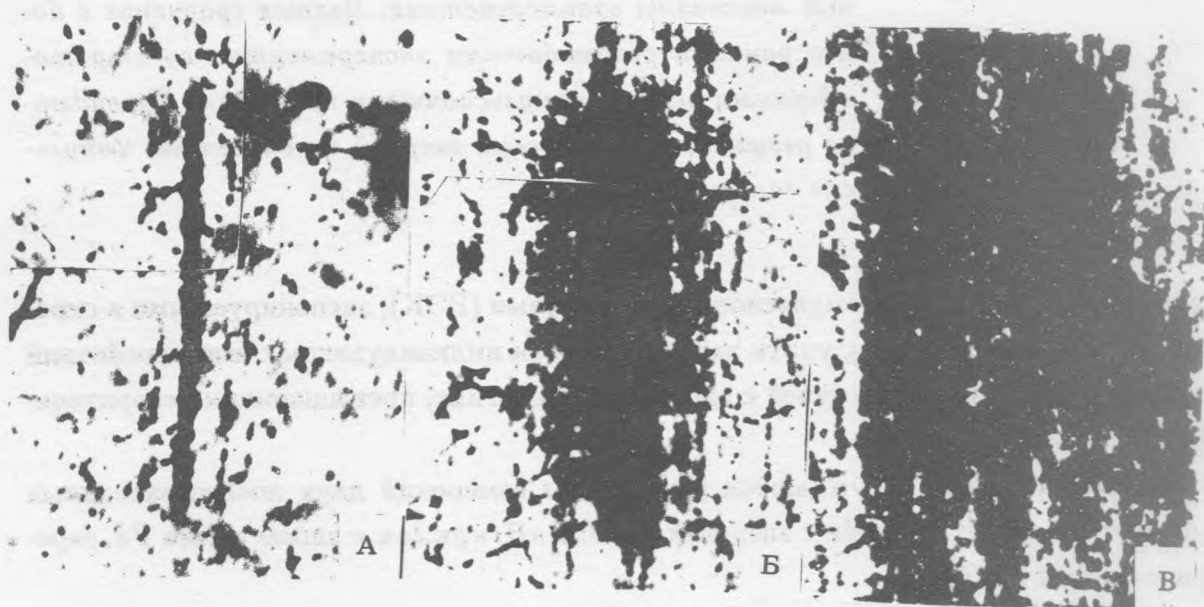


Рис. 1. Общий вид взаимодействия 8801P: а) в пленке N 5 (блок М), б) в пленке N 9 (блок М), в) в пленке N 25 (Г-блок).

Заряд первичной частицы и фрагмента определялся методом счета числа зерен и числа разрывов с длиной больше некоторой на следах этих частиц и сравнением с калибровочными данными. На рисунке 2 приведены распределения по псевдобыстроте $\eta = -\ln \operatorname{tg}(\Theta/2)$ вторичных частиц взаимодействий 8801P и 881201. Частицы из первого и второго взаимодействий в ядерных эмульсиях легко различаются по углам.

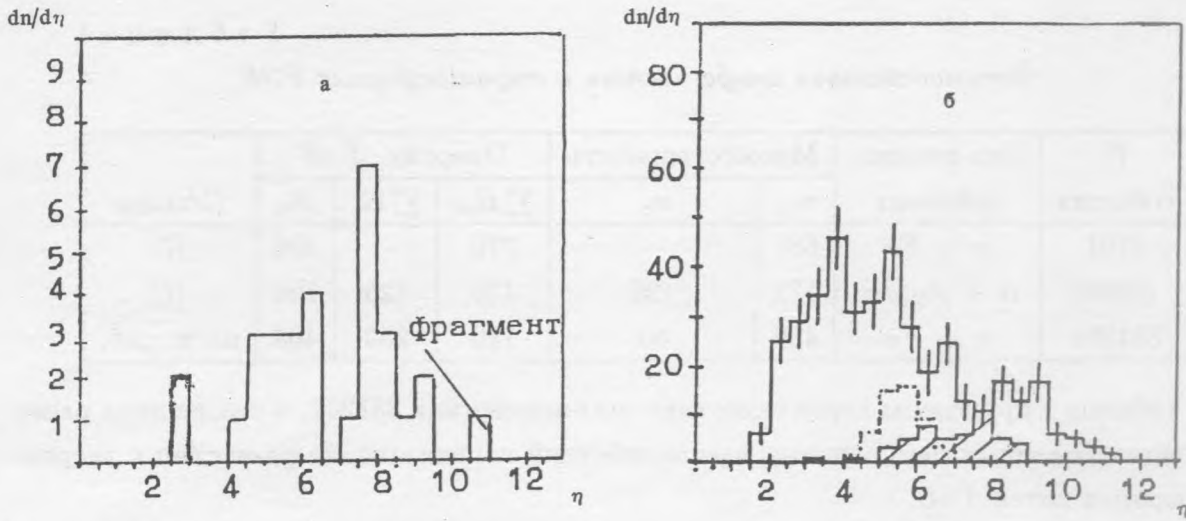


Рис. 2. а) Распределение по псевдобыстроте частиц из взаимодействия 8801P, $\alpha + Fe \rightarrow {}^3He + 29ch$. б) Распределение по псевдобыстроте заряженных частиц, гамма-квантов (49) из мишенного блока (заштрихованная область) и гамма-квантов (50) из Г-блока (пунктир) для взаимодействия 881201, ${}^3He + Fe \rightarrow 406ch + 49\gamma$.

Результаты определения зарядов первичной частицы и фрагмента, а также сравнительно небольшая множественность вторичных частиц в событии 8801P позволяют думать, что мы наблюдаем нуклон-нуклонное взаимодействие. Оценка энергии E_0 для таких взаимодействий производилась методом Кастаньоли, который был откалиброван по ускорительным данным [3]: $E_0 = C(M_p/2) \exp\{2 \langle \eta \rangle\}$, где $C = 0,4$, M_p – масса протона. Отсюда $E_0 = 80 - 100 TэВ$.

Для второго взаимодействия оценивалась энергия, выделенная в заряженные частицы и в гамма-кванты. В предположении постоянства среднего поперечного импульса вторичных заряженных частиц получим: $\sum E_{ch} \simeq 0,45 \sum_i \sin^{-1} \vartheta_i \simeq 100 TэВ$. Здесь ϑ_i – угол вылета i -ой частицы.

Энергию ядерно-электромагнитного каскада мы оценили, пользуясь расчетными кривыми [4] для взаимодействий $(p + C)$ в камерах, подобных нашей. Поскольку множественность вторичных заряженных частиц велика, то можно предположить, что взаимодействие 881201 является центральным и в нем участвуют все три нуклона падающего ядра 3He . Тогда $\sum E_\gamma \simeq 90 - 150 TэВ$, поэтому коэффициент неупругости для этого взаимодействия принимается равным $k = 0,7 - 0,8$, и $E_0 = (\sum E_{ch} + \sum E_\gamma)/k = 330 TэВ$. На каждый нуклон взаимодействующего ядра приходится $\sim 110 TэВ$, что согласуется с оценкой энергии в первом взаимодействии.

Т а б л и ц а 1

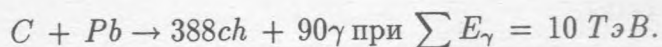
Взаимодействия альфа-частиц в стратосферных РЭК

N события	Тип взаимо- действия	Множественность		Энергия, ТэВ			Ссылка
		n_{ch}	n_{γ}	$\sum E_{ch}$	$\sum E_{\gamma}$	E_0	
3101	$\alpha + Fe$	681	—	270	—	500	[7]
63988	$\alpha + Ag, Br$	172	126	430	125	720	[7]
881201	$\alpha + Fe$	406	50	110	250	400	наст. раб.

В таблице 1 приведены характеристики взаимодействия 881201, а также двух ранее проанализированных центральных взаимодействий первичных альфа-частиц с энергиями порядка сотен ТэВ.

Для события 881201 в Г-блоке на расстоянии ~ 50 мкм от центра удалось выделить около 50 каскадов от отдельных гамма-квантов. Их энергия была оценена методом счета треков в кругах определенного радиуса и сравнением с каскадной кривой. Поперечные импульсы гамма-квантов определялись, как $P_{\perp\gamma} = E_{\gamma} \sin \vartheta/c$. На рис. 3 представлено распределение по поперечным импульсам, аппроксимированное функцией $N(p_{\perp}) \sim \exp(-p_{\perp}/p_0)$, для взаимодействий 881201 и 63988 (см. табл. 1, 2). Средние значения поперечного импульса $\langle p_{\perp} \rangle = p_0$ равны 0,53 ГэВ/с и 0,23 ГэВ/с, соответственно. Для события 881201 $\langle p_{\perp} \rangle$ превышает средний поперечный импульс, известный из экспериментов на ускорителях, более чем в 2 раза. Мы проанализировали возможность "загрязнения" семейства каскадов от гамма-квантов в событии 881201 каскадами из первого взаимодействия 8801Р. Было найдено, что увеличение p_{\perp} за счет этого не превышает 15%.

На рис. 3 приводятся также данные [5], полученные коллаборацией JАСЕЕ, — распределение гамма-квантов из взаимодействия Н-381 легкого ядра с тяжелой мишенью:



Величина p_0 для гамма-квантов из этого взаимодействия близка к p_0 для взаимодействия 881201.

По угловому разлету вторичных заряженных частиц, согласно [6], были определены размеры области излучения пионов. Для взаимодействия 881201 радиус области излучения оказался меньше 1,5 Фм, для 63988 — $3,5 \pm 0,4$ Фм. Значения областей псевдобыстрот, в которых были проведены измерения p_{\perp} гамма-квантов, и размеры области взаимодействия указаны в таблице 2.

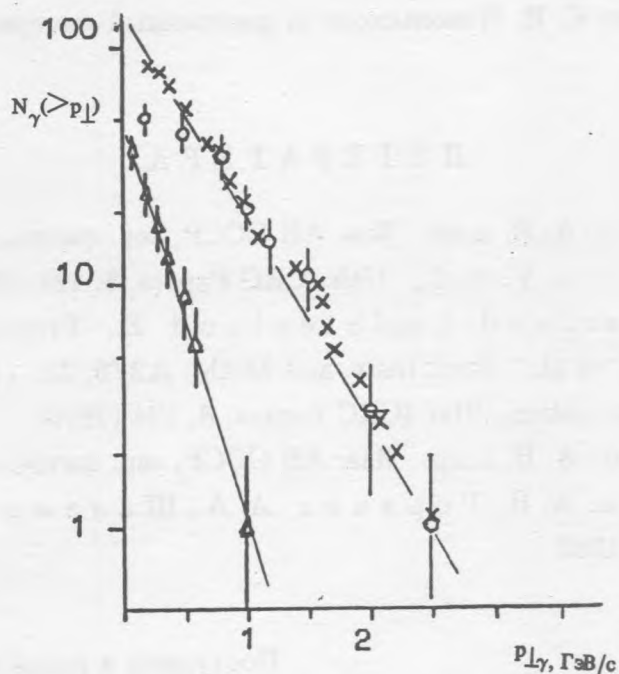


Рис. 3. Распределение гамма-квантов по поперечному импульсу из взаимодействий : o - 881201; Δ - 63988 [7]; x - H-381 [5].

Т а б л и ц а 2

Поперечные импульсы гамма-квантов

№ события	Число измеренных γ -квантов	Область измерений p_{\perp}, η	Средний поперечный импульс $p_0, \text{ГэВ/с}$	Радиус области взаимодействия, Φ_m
881201	50	4.5 - 7	0.53	< 1.5
63988	54	6 - 10	0.23	3.5
H-381	90	4 - 8	0.53	

Изучение отдельных взаимодействий нуклонов и ядер позволяют получать информацию о различных механизмах взаимодействия при высокой энергии. Возможно, характеристики события 881201 свидетельствуют о том, что вылет пионов с большим поперечным импульсом p_{\perp} происходит из центра возбужденной системы, в то время как в 63988 происходит испарение с поверхности большого по размеру образования и этот процесс характеризуется малым p_{\perp} .

Авторы благодарят С. И. Никольского за постоянный интерес к работе и полезные дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А п а н а с е н к о А. В. и др. Изв. АН СССР, сер. физич., **53**, 250 (1989).
- [2] А р а н а с е н к о А. V. et al., 18th ICRC Papers, **5**, 127 (1983).
- [3] D a r A., O t t e r l u n d I, and S t e n l u n d E., Preprint LUIP 7812.
- [4] F u j i n a g a T. et al., Nucl. Instr. and Meth., **A276**, 317 (1989).
- [5] The JACEE collaboration., 21st ICRC Papers, **8**, 124 (1990).
- [6] А п а н а с е н к о А. В. и др. Изв. АН СССР, сер. физич., **55**, 647 (1991).
- [7] А п а н а с е н к о А. В., Г о р я ч и х А. А., Ш а л а м о в а С. Я. Препринт ФИАН N 45, М., 1992.

Поступила в редакцию 17 ноября 1993 г.