

СРАВНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ С ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ КОСМИЧЕСКИХ АДРОНОВ РАЗНОЙ ПРИРОДЫ ПРИ ЭНЕРГИЯХ ВЫШЕ 1 Тэв

Н. А. ГРИГОРОВ, С. В. МИТОЯН, А. И. САВЕЛЬЕВА,
В. Я. ШЕСТОПЕРОВ

Приводятся экспериментальные данные о некоторых характеристиках взаимодействий с легкими ядрами одиночных адронов и адронов, идущих в составе групп. Полученные результаты указывают на то, что нуклоны и пионы генерируют высокоэнергичные γ -кванты в процессах с близкими средними характеристиками.

В настоящей работе приводятся результаты исследования некоторых характеристик взаимодействий одиночных адронов и адронов, идущих в группах (в космических лучах), с ядрами графитовой мишени. Работа была проведена на установке «ионизационный калориметр в сочетании с контролируемыми ядерными фотоэмульсиями» (высокогорная станция «Арагац»).

В серии работ [1, 2], выполненных ранее на той же установке, было показано, что при регистрации ионизационных толчков из-за круто падающего спектра адронов космических лучей и флуктуаций парциального коэффициента неупругости K_γ автоматически отбираются такие взаимодействия высокоэнергичных адронов ($E_0 \geq 1\text{ Тэв}$), которые отличаются от типичных «средних» взаимодействий большим коэффициентом неупругости — большой долей энергии ($K_\gamma \geq 0,5$), передаваемой малому числу генерированных γ -квантов (π^0 -мезонов). При этом один из π^0 -мезонов получает в среднем около 30–40% энергии первичного адрона. Такие взаимодействия, несмотря на их малую вероятность ($\sim 10\%$), оказались ответственными за большую часть регистрируемых ионизационных толчков и целый ряд других явлений, наблюдаемых в космических лучах при высоких энергиях [3]. Природа первичных адронов, вызывающих эти взаимодействия, непосредственно не была определена. Поскольку в этих работах изучались одиночные ионизационные толчки, т. е. взаимодействия одиночных адронов, которые в глубине атмосферы (690 гсм^{-2}) не сопровождалось адронами сравнимой энергии и имели ограниченноеливневое сопровождение, то было высказано предположение [4–8], что такие взаимодействия вызываются в основном нуклонами, сохранившимися от первичного космического излучения. Однако вопрос о природе частиц, обуславливающих взаимодействия с большим значением K_γ , нуждался в дальнейшем исследовании. Наряду с этим некоторые авторы [9] высказывали мнение, что взаимодействия с большой передачей энергии γ -квантам (π^0 -мезонам) вызываются в основном заряженными пионами.

Анализ совокупности экспериментальных данных, полученных в космических лучах [3], показал, что при энергиях $E_0 \geq 1\text{ Тэв}$ взаимодействия пионов и нуклонов с легкими ядрами практически одинаковы с точки зре-

ния генерации высокоэнергичных γ -квантов. В частности, одним из указаний на это являются данные, полученные при регистрации одиночных адронов и адронов, идущих в составе развивающихся в атмосфере электронно-ядерных лавин [10].

В настоящей работе была продолжена обработка имеющегося экспериментального материала, полученного методом контролируемых фотоэмульсий, с тем, чтобы провести аналогичное изучение взаимодействий адронов, приходящих на установку в составе групп частиц, т. е. в составе электронно-ядерных ливней, развивающихся в атмосфере. Взаимодействия в установке таких адронов, обуславливающих так называемые «структурные толчки», вызываются как нуклонами, так и пионами, так как в электронно-ядерных лавинах π^+ -мезоны составляют большую часть ($\sim 80\%$) всех адронов. Сравнивая характеристики взаимодействий адронов, ответственных за создание одиночных и структурных ионизационных толчков, мы попытались выяснить, отличаются ли взаимодействия высокоэнергичных пионов и нуклонов с легкими ядрами с точки зрения генерации γ -квантов (π^0 -мезонов).

В работе [11] были подробно описаны установка и метод отбора и поиска событий в фотоэмульсиях, который позволил за 750 часов работы установки выделить для подробного изучения 12 ядерных взаимодействий в графите, создавших одноструйные электронно-ядерные лавины в калориметре, и 44 графитовых взаимодействия в 39 многоструйных электронно-ядерных лавинах в калориметре.

Напомним критерии и последовательность отбора событий.

1. В ионизационном калориметре зарегистрирована электронно-ядерная лавина, в которой хотя бы одна струя дала толчок, соответствующий энерговыделению в электронно-фотонную компоненту $E_{э. ф.} \gtrsim 1,4 \text{ Тэв}$.

2. В ядерных фотоэмульсиях находился и обрабатывался соответствующий электронно-фотонный ливень, в котором хотя бы один γ -квант имел энергию $E_\gamma \gtrsim 1 \text{ Тэв}$.

3. Отбирались взаимодействия высокоэнергичных адронов с ядрами графитовой мишени*.

Обработанные события подразделялись на три класса:

E_1 — наиболее энергичный адрон из группы (наиболее энергичная струя в многоструйной электронно-ядерной лавине в калориметре).

$E_{2,3}$ — все остальные адроны из группы (остальные струи в многоструйной электронно-ядерной лавине в калориметре),

$E_{од.}$ — одиночные адроны (одноструйная электронно-ядерная лавина в калориметре).

Как мы уже упоминали, есть основание считать, что струи $E_{од.}$ вызываются, в основном, нуклонами, а струи $E_1, E_{2,3}$ — могут иметь как пионное, так и нуклонное происхождение. Предполагаем, что E_1 — «сохранившийся» нуклон, а $E_{2,3}$ — пионы.

* В событиях, рассматриваемых в настоящей работе, не исключена некоторая доля взаимодействий с ядрами воздуха недалеко от установки ($H_{ат.} \lesssim 50 \text{ м}$).

Ниже приводятся некоторые характеристики генерации высокоэнергичных γ -квантов в этих трех классах событий. В таблице приведены следующие данные для событий трех классов в одном и том же энергетическом интервале $E_0 = (3-9) \text{ Тэв}$: $\langle E_0 \rangle$ — средняя энергия взаимодействующих адронов; $\langle \Sigma E_\gamma \rangle$ — среднее значение энергии, переданное при взаимодействии адронов генерированным γ -квантам; $\langle K_\gamma \rangle$ — средняя доля энергии, переданная первичным адроном генерированным γ -квантам; $\langle n_\gamma \rangle$ — средняя множественность генерированных γ -квантов; $\langle E_{\gamma \text{ max}} / \Sigma E_\gamma \rangle$ — средняя доля энергии наиболее энергичного γ -кванта по отношению к суммарной энергии γ -квантов, генерированных при взаимодействии высокоэнергичного адрона; $\langle E_{\gamma \text{ max}} / E_0 \rangle$ — средняя доля энергии наиболее энергичного γ -кванта по отношению к полной энергии первичного взаимодействующего адрона. Из данных таблицы следует, что приведенные средние характеристики в пределах экспериментальных ошибок одинаковы для одиночных адронов и адронов, идущих в составе электронно-ядерных лавин. Следовательно, можно сделать вывод, что события с большим значением $\langle K_\gamma \rangle$ и малым числом генерированных γ -квантов с одинаковой вероятностью создаются как нуклонами, так и пионами [12].

Таблица

Средние характеристики изучаемых взаимодействий в интервале первичной энергии $E_0 = (3-9) \text{ Тэв}$

Класс струн	Число струн	$\langle E_0 \rangle$ (Тэв)	$\langle \Sigma E_\gamma \rangle$ (Тэв)	$\langle K_\gamma \rangle$	$\langle n_\gamma \rangle$	$\langle \frac{E_{\gamma \text{ max}}}{\Sigma E_\gamma} \rangle$	$\langle \frac{E_{\gamma \text{ max}}}{E_0} \rangle$
E_1	14	$5,7 \pm 0,5$	$3,6 \pm 0,5$	$0,64 \pm 0,06$	$4,1 \pm 0,5$	$0,48 \pm 0,05$	$0,29 \pm 0,05$
$E_{2,3}$	10	$5,4 \pm 0,4$	$2,7 \pm 0,3$	$0,52 \pm 0,06$	$3,4 \pm 0,6$	$0,54 \pm 0,06$	$0,32 \pm 0,07$
$E_{\text{ол.}}$	10	$5,3 \pm 0,5$	$2,8 \pm 0,3$	$0,58 \pm 0,07$	$4,6 \pm 0,6$	$0,44 \pm 0,04$	$0,23 \pm 0,08$

Для каждого из трех классов событий построены энергетические спектры рождающихся γ -квантов. Обычно при построении таких спектров энергию γ -квантов относят к суммарной энергии всех родившихся γ -квантов и строят спектр величин $f = E_\gamma / \Sigma E_\gamma$. Хорошо известно, что такие спектры описываются экспоненциальной функцией вида $N(\geq f) = A \exp(-f/a)$. По данным большинства работ [13-15] $a = 0,14-0,18$. Спектры рождающихся γ -квантов $N(\geq f)$, полученные в настоящей работе, для каждого из трех рассматриваемых классов событий подобны (рис. 1). Величина a для всех $\approx 0,20$. В работе [9] отмечалось, что спектры γ -квантов в семействах $N(\geq f)$ нечувствительны к природе первичного адрона (пион или нуклон), хотя парциальные коэффициенты неупругости K_γ при взаимодействиях частиц разной природы с легкими ядрами могут существенно отличаться. Поэтому данные, приводимые на рис. 1, взятые сами по себе, не могут служить указанием на одинаковость или различие характеристик взаимодействий одиночных адронов и адронов, идущих в группах.

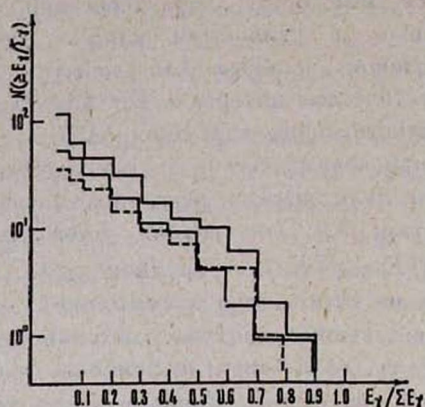


Рис. 1. Энергетический спектр γ -квантов $N(\geq E_\gamma / \Sigma E_\gamma)$, рождающихся во всех классах событий: 1—взаимодействия адронов класса E_1 , 2—взаимодействия адронов класса $E_{0.1}$, 3—взаимодействия адронов класса $E_{2,3}$.

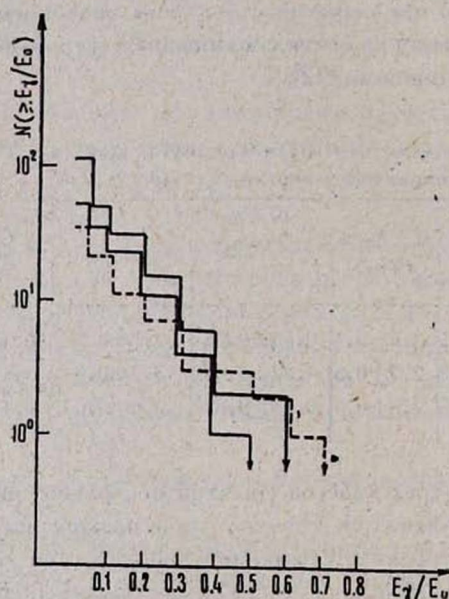


Рис. 2. Энергетический спектр γ -квантов $N(\geq E_\gamma / E_0)$, рождающихся во всех классах событий. Обозначения те же, что и на рис. 1.

Для ответа на поставленный вопрос необходимо энергию γ -кванта относить не к энергии семейства ΣE_γ , а к энергии адрона E_0 и построить спектр величин $F = E_\gamma / E_0$. Примененная в настоящей работе установка позволяет сделать эту операцию, так как для каждого электронно-фотонного ливня, зарегистрированного в ядерных фотоэмульсиях, известна энергия вызвавшего его адрона. В этом отношении полученные экспериментальные данные являются уникальными. Спектры $N(\geq F) = N(\geq E_\gamma / E_0)$ для трех классов рассматриваемых событий приведены на рис. 2. Видно, что все спектры $N(\geq F)$ подобны, $b \approx 0,15$.

Таким образом, приведенные экспериментальные данные показывают, что ионизационные толчки, созданные одиночными адронами, наиболее энергичными адронами в группах и остальными адронами из групп, генерируются в одних и тех же процессах. Для этих трех классов событий средняя доля энергии $\langle K_\gamma \rangle$, передаваемой всем γ -квантам, и энергетические спектры рождающихся γ -квантов совпадают с точностью $\sim 10\%$. Трудно предположить, что во всех трех классах событий соотношение первичных нуклонов и π -мезонов было одинаковым. Поэтому полученный результат является еще одним указанием на то, что адроны высоких энергий ($E_0 \gtrsim 1$ Тэв) вне зависимости от их природы (нуклоны или пионы) генерируют высокоэнергичные γ -кванты (π^0 -мезоны) в процессах, обладающих близкими средними характеристиками.

Научно-исследовательский институт
ядерной физики МГУ
Ереванский политехнический институт

Поступила 22.II.1974

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. N. L. Grigorov et al. Nukleonika, 9, 291 (1964).
2. Н. Л. Григоров и др. ЖЭТФ, 47, 379 (1964).
3. Н. Л. Григоров, И. Д. Рапопорт, В. Я. Шестоперов. Частицы высоких энергий в космических лучах, Изд. Наука, М., 1973.
4. А. И. Савельева. Кандидатская диссертация, НИИЯФ МГУ, 1969.
5. Ch. P. Babayan, S. I. Brikker et al. Nuovo Cim., B54, 26 (1968).
6. Х. П. Бабалян, Н. А. Марутян, С. В. Митоян. Изв. АН СССР, сер. физ., 31, 1421 (1967).
7. N. L. Grigorov et al. Canad. Journ. Phys., 46, 684 (1968).
8. Х. П. Бабалян, С. И. Бриккер, Н. Л. Григоров, С. В. Митоян и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 32, 3 (1968).
9. В. С. Мурзин, Л. И. Сарычева. Космические лучи и их взаимодействие, Атомиздат, М., 1968.
10. В. А. Собиляков, Ч. А. Третьякова, Л. О. Чикова, В. Я. Шестоперов. Изв. АН СССР, сер. физ., 36, 1661 (1972).
11. Н. Л. Григоров, С. В. Митоян, А. И. Савельева. Изв. АН АрмССР, Физика, 8, 93 (1973).
12. Н. Л. Григоров, С. В. Митоян, А. И. Савельева, В. Я. Шестоперов. Изв. АН СССР, сер. физ., 38, 952 (1974).
13. Japan-Brazil Collaboration. Canad. Journ. Phys., 46, 660 (1968); Acta Phys. Acad. Scien. Hung., 29, Suppl., 3, 63 (1970).
14. P. Malhotra, P. Shukla et al. Nuovo Cim., 40A, 385 (1965); Nuovo Cim., 40A, 404 (1965).
15. Y. Maeda. Journ. Phys. Soc. Japan, 21, 1 (1966).

**Թեթեւ Ինտերակցիաների Հետ 1 Տէվ-ից Մեծ Էներգիաներով Օժտված ՏԱՐԻՆԵՐ
Բնութագրի Կոմպարատիվ Արժեքների Փոխադրեցումից Ան Գալի
Հասկացումների Համեմատումով**

Ն. Լ. ԳՐԻԳՈՐՈՎ, Ս. Վ. ՄԻՏՈՅԱՆ, Ա. Լ. ՍԱՎԵԼՅԵՎԱ, Վ. ՅԱ. ՇԵՍՏՈՊԵՐՈՎ

Բերվում են փորձնական տվյալներ միայնակ ադրոնների և խմբերով եկող ադրոնների՝ թեթև միջուկների հետ փոխադրեցության մի քանի բնութագրերի վերաբերյալ:

Ստացված արդյունքները ջույց են տալիս, որ միջին բնութագրերով իրար մոտ պրոցեսներում նուկլոններն ու պիոնները առաջացնում են մեծ էներգիայի γ -բաժաններ:

**COMPARISON OF SOME INTERACTION CHARACTERISTICS
OF DIFFERENT NATURE COSMIC HADRONS WITH LIGHT
NUCLEI AT ENERGIES EXCEEDING 1 TeV**

N. L. GRIGOROV, S. V. MITOYAN, A. L. SAVEL'EVA, V. Ya. SHESTOPEROV

The experimental data on some characteristics of the interactions of single hadrons and the groups of hadrons with light nuclei are given. The obtained data show that nucleons and pions generate high energy γ -quanta in processes with similar average characteristics.