

Т. Х. САДЫКОВ, Н. С. ПОКРОВСКИЙ, Н. Н. ЗАСТРОЖНОВА, Е. М. ТАУТАЕВ, Т. К. ЖАМАУОВА

(Физико-технический институт, Алматы, Казахстан)

ИЗУЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА НЕУПРУГОСТИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ КОСМИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ С МИШЕНЬЮ ПРИ ЭНЕРГИЯХ БОЛЬШЕ 10^{13} ЭВ

Аннотация. На Высокогорной научной станции космических лучей, расположенной в горах Тянь-Шаня на высоте 3340 метров над уровнем моря проводилась регистрация частиц космического излучения. В данной работе изучаются величины коэффициента неупругости по данным РЭК и ионизационного калориметра при энергиях больше 10^{13} эВ. Также были проведен предварительный расчет ожидаемых значений K_γ в зависимости от суммарной энергии гамма-квантов семейств ΣE_γ и полной энергии взаимодействия – E_0 . Полученные нами значения K_γ находятся в хорошем согласии с результатами расчета.

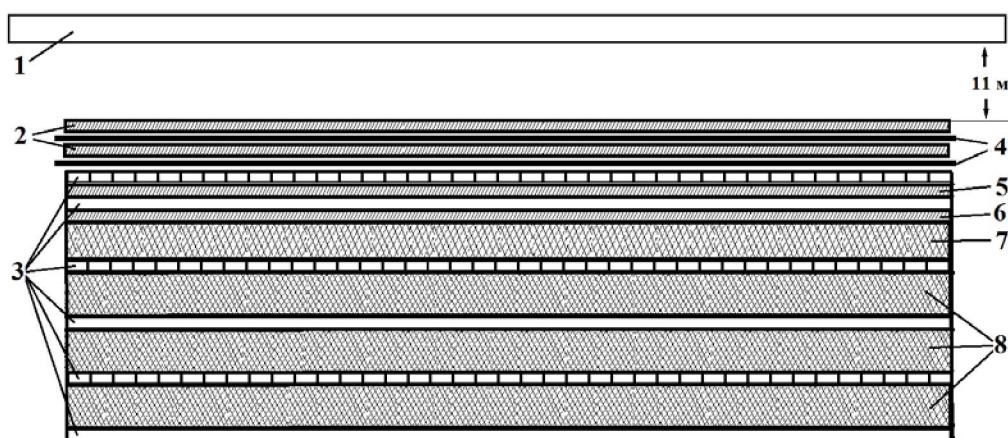
Ключевые слова: коэффициент неупругости, ионизационный калориметр, гамма-квант.

Тірек сөздер: серпімсіздік коэффициенті, ионизациялық калориметр, гамма-квант.

Keywords: inelasticity coefficient, ionization calorimeter, gamma quantum.

Введение. Космические лучи, приходящие на Землю из мирового пространства, которые принято называть первичными космическими лучами (ПКЛ), с современной точки зрения представляют собой поток частиц высокой энергии вплоть до $\sim 10^{20}$ эВ. Исследование ядерных взаимодействий частиц космического излучения высокой энергии требует привлечения специальной техники и методики эксперимента, позволяющих решить поставленные задачи. Желание получить непосредственную информацию об акте взаимодействия при минимальном вкладе повторных взаимодействий, искажающих картину первичного ядерного столкновения, приводит к необходимости проведения экспериментов на высокогорных станциях, где толщина атмосферы над установкой меньше, чем на уровне моря. Подавляющее число экспериментов в космических лучах проведено именно на высокогорных станциях, в полетах баллонов и искусственных спутников земли.

Описание экспериментальной установки. Ионизационный калориметр установки «Адрон-44» представляет собой уникальное сооружение. Впервые в мире на высоте 3340 м был смонтирован калориметр площадью 44 м^2 и весом ~ 500 тонн. Перекрытие между 1 и 2 м этажами имело проем размером $6 \times 8\text{ м}^2$ для беспрепятственного монтажа установки. Уникальность ионизационного калориметра заключалась не только в размерах установки, но и в уровне ее автоматизации, позволяющей проводить регистрацию и обработку частиц высокой энергии в режиме «on line». На рисунке 1 представлена схема установки «Адрон-44» Ионизационный калориметр установки был скомпонован



Комплексная установка "Адрон-44" состоящая из рентгеноэмульсионной камеры и ионизационного калориметра, площадь 44 м.кв. 1-мишень, площадь 60 м.кв. , толщина 15 см. 2-Pb толщиной по 2 см. 3- ионизационные камеры. 4-фотопакеты. 5-Pb толщиной $1,5\text{ см.}$ 6-Pb толщиной $0,5\text{ см.}$ 7-Fe толщиной 24 см. 8- Fe толщиной по 32 см.

Рисунок 1 – Схема установки «Адрон-44»

из 6 рядов ионизационных камер с общей толщиной поглотителя 1033 г/см^2 , что вполне достаточно для корректного определения энергии первичной частицы E_0 с разумной точностью. Естественно, что каждые соседние ряды ионизационных камер были расположены во взаимно перпендикулярных направлениях, что позволяет определять пространственные координаты ядерной лавины. Два верхних ряда камер располагались под свинцовым поглотителем РЭК и калориметра и были предназначены для определения доли энергии выделенной в нейтральную компоненту в мишенном взаимодействии – K_π^0 .

Исследование коэффициента неупругости K_γ . Известно, что в среднем энергия, передаваемая в π^0 -мезоны или в мягкую компоненту космических лучей, в акте составляет в р-N взаимодействиях $\sim 0,17$, в π -N-взаимодействиях $\sim 0,25$, в то же время в экспериментах, имеющих на вооружении только рентгеноэмульсионные камеры, происходит отбор тех взаимодействий, где в нейтральную компоненту выделяется энергия на частицу не менее $E_{\text{пор}}$. Естественно, что большинство экспериментаторов, оперируя среднемировыми данными, закладывают в своих вычислениях величину парциального коэффициента неупругости, равную $K \sim 0,25$.

В нашем эксперименте имеется возможность определения непосредственно величины K_γ по данным РЭК и ионизационного калориметра в каждом зарегистрированном взаимодействии. Ранее мы определили величину K_γ на основании 49 событий. К настоящему времени статистика увеличилась более чем в 11 раз. Интересно посмотреть, изменится ли величина K_γ при существенном увеличении статистики. На рисунке 2 приведено распределение по величине $K_\gamma = \sum E_\gamma / E_0$ для всех анализируемых семейств гамма-квантов.

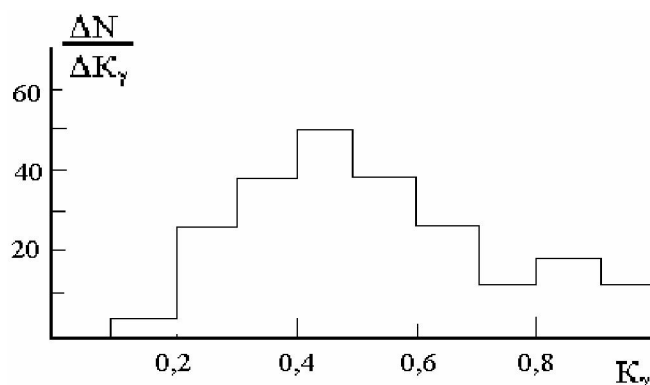


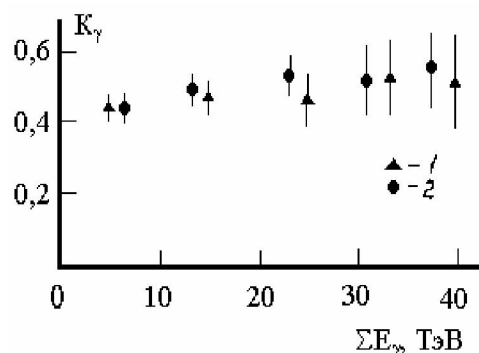
Рисунок 2 – Доля энергии первичной частицы, переданная гамма-квантам

Среднее значение величины $\langle K_\gamma \rangle = 0,52 \pm 0,05$. Как видно, разногласие между общепринятыми параметром неупругости взаимодействия $K \sim 0,25$ и нашими экспериментальными данными остается. Данное противоречие нетрудно объяснить, имея в виду наличие порога регистрации гамма-квантов $E_{\text{пор}}^\gamma$, порога отбора событий по суммарной энергий гамма-квантов семейства $\sum E_\gamma$ и крутопадающего спектра космических лучей $N(>E) \sim E^{-1,8}$.

С целью оценки влияния этих факторов на величину $K_\gamma = \sum E_\gamma / E_0$ нами был проведен предварительный расчет ожидаемых значений K_γ в зависимости от суммарной энергии гамма-квантов семейств $\sum E_\gamma$ и полной энергии взаимодействия – E_0 . В расчет закладывалось априорное распределение по K_γ для адронов космического излучения, взятое из работы С.И. Никольского со средним значением $\langle K_\gamma \rangle = 0,24$, показатель спектра адронов космических лучей $\gamma \sim -1,7$ и пороговая энергия регистрации гамма-квантов $E_{\text{пор}} = 1,5 \text{ ТэВ}$. Затем производился розыгрыш ливней по возможным значениям K_γ с учетом вероятности реализации их конкретных значений, вытекающих из заложенного распределения. Впоследствии вводилась пороговая энергия регистрации гамма-семейств $\sum E_\gamma^{\text{пор}}$. Результат расчета значений K_γ в зависимости от $\sum E_\gamma$ приведен на рисунке 3.

Как видно из представленного графика, величина K_γ в пределах ошибок не зависит от $\sum E_\gamma$ и превышает значение 0,5 в рассматриваемом диапазоне энергий. На этом же графике приведены наши экспериментальные данные.

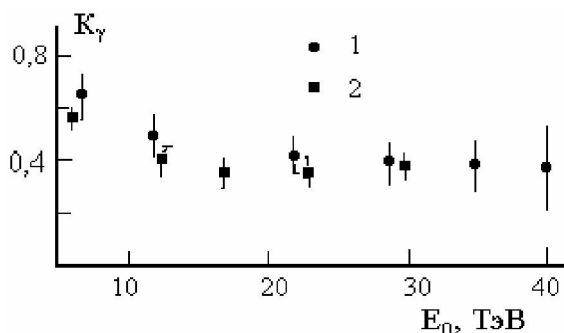
Рисунок 3 – Зависимость $K_\gamma = E_\gamma / \Sigma E_\gamma$ от ΣE_γ .
1 – эксперимент, 2 – расчет



Полученные нами значения K_γ находятся в хорошем согласии с результатами расчета. При рассмотрении представленных данных нетрудно сделать вывод о том, что при отборе событий по величине ΣE_γ неизбежно завышение значения K_γ вне зависимости от диапазона энергий ΣE_γ . Иными словами, при наличии определенного порога отбора по ΣE_γ значения K_γ не нормализуются с ростом ΣE_γ и $K_\gamma \sim 0,5$. Здесь следует заметить, что единственный аналогичный нашему эксперимент Н. Л. Григорова на г. Арагац, включающий ионизационный калориметр и РЭК при малом времени экспозиции дал аналогичное значение $K_\gamma \sim 0,51 \pm 0,05$ для семейств гамма-квантов. К сожалению, этот эксперимент длился недолго и имел, соответственно, малый статический материал.

Наличие в нашем эксперименте информации о полном энерговыделении E_0 позволило нам определить зависимость K_γ от E_0 . На рисунке 4 приведен график зависимости расчетного значения K_γ от величины полной энергии взаимодействия E_0 .

Рисунок 4 – Зависимость $K_\gamma = \Sigma E_\gamma / E_0$ от E_0 !
1 – эксперимент, 2 – расчет



Как видно из рисунка, значение K_γ падает по мере роста E_0 и в области $E_0 \sim 40$ ТэВ достигает значений $K_\gamma \sim 0,35$, что фактически соответствует парциальному коэффициенту неупругости налетающего π^\pm -мезона. На этом же рисунке показана зависимость K_γ от E_0 , полученная в результате нашего эксперимента. Нетрудно заметить, что как расчетная, так и экспериментальная зависимости имеют одну и ту же тенденцию, то есть при фиксированном ΣE_γ с ростом E_0 среднее значение $\langle K_\gamma \rangle$ уменьшается и стремится к экспериментально установленному значению $\langle K_\gamma \rangle \sim 0,25$.

Таким образом, при регистрации ливней только с помощью рентгеномульсионных камер, в отсутствие информации о полном энерговыделении происходит неизбежное искажение величины K_γ , в какой бы области энергии ΣE_γ при фиксированном отборе по ΣE_γ мы не работали. Значение энергии взаимодействия E_0 позволяет проводить анализ событий, отражающих средние характеристики акта, путем рассмотрения ливней с энергиями, значительно превышающими пороговую энергию регистрации $\Sigma E_\gamma^{\text{пор}}$. В этом аспекте использование РЭК совместно с ионизационным калориметром дает существенные преимущества с точки зрения информативности и достоверности эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1 ALICE Collaboration, B. Abelev et al., «Long-range angular correlations on the near and away side in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV,» arXiv:1212.2001v2 [nucl-ex]

- 2 ALICE Collaboration, B. Abelev et al., «Observation of Long-Range, Near-Side Angular Correlations in Proton-Proton Collisions at the LHC» arXiv:1009.4122v1 [hep-ex].
- 3 L. T. Baradzei et al. [Pamir Collaboration], Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 50N11, 46 (1986)
- 4 Izv. Ross. Akad. Nauk Ser. Fiz. 50, 2125 (1986); MGU-89-67-144 (1989); Bull. Russ. Acad.
- 5 Ж.С.Такибаев, Т.Х.Садков, «Парное образование пионных кластеров в области энергий 25 ТэВ» Известия АН Каз ССР, 1977? сер. Физ.-мат. №4, стр.15-19.
- 6 Hasegava S., Fujimoto Y., Tamada M., et al. Interactions. Multiple Meson Production in the $\sum E_\gamma > 2 \cdot 10^{13}$ eV Region. // Proc. of Bartol Conference, 1979, vol.1, p.245.
- 7 К.М.Мукашев, Т.Х.Садков "Физика, астрофизика космических лучей и аномальные эффекты в адронных взаимодействиях" Алматы, 2011

REFERENCES

- 1 ALICE Collaboration, B. Abelev et al., «Long-range angular correlations on the near and away side in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV» arXiv:1212.2001v2 [nucl-ex]
- 2 ALICE Collaboration, B. Abelev et al., «Observation of Long-Range, Near-Side Angular Correlations in Proton-Proton Collisions at the LHC» arXiv:1009.4122v1 [hep-ex].
- 3 L. T. Baradzei et al. [Pamir Collaboration], Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 50N11, 46 (1986)
- 4 Izv. Ross. Akad. Nauk Ser. Fiz. 50, 2125 (1986); MGU-89-67-144 (1989); Bull. Russ. Acad.
- 5 Zh.S.Nakibayev, T.Kh.Sadykov, «Pair formation of pion clusters in the energy range 25 TeV» Известия АН Каз ССР, 1977 ser. Phys-math. №4, p.15-19.
- 6 Hasegava S., Fujimoto Y., Tamada M., et al. Interactions. Multiple Meson Production in the $\sum E_\gamma > 2 \cdot 10^{13}$ eV Region. // Proc. of Bartol Conference, 1979, vol.1, p.245.
- 7 К.М.Мукашев, Т.Х.Садков «Physics, astrophysics, cosmic rays and the anomalous effects in hadron interactions» Almaty, 2011

Резюме

Т. Х. Садьков, Н. Н. Застрожная, Е. М. Таутаев, Т. К. Жаманова

(«Физика-техникалық институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан)

ЭНЕРГИЯСЫ 10^{13} ЭВ ЖОҒАРЫ СЕРПІМСІЗДІК КОЭФФИЦИЕНТТІҢ НЫСАНАМЕН ӘРЕКЕТТЕСУІН ЗЕРТТЕУ

Теңіз деңгейінен 3340 метр биіктікте орналасқан биік таулы ғылыми ғарыш сәулелер станциясында ғарыш сәулелердің тіркелуді өткізілді. Осы жұмыста энергиясы 10^{13} эВ жоғары әр тіркелген әрекеттестіктің РЭК және ионизациялық калориметр деректерін қолданып, серпімсіздік коэффициенті анықталады. Сонымен қатар K_γ мағынасының $\sum E_\gamma$ және E_0 мағыналарынан алдын ала есептеліп болжанған байланысы анықталды. Алынған K_γ мағыналары есептелген нәтижелермен жақсы сәйкеседі.

Тірек сөздер: серпімсіздік коэффициенті, ионизациялық калориметр, гамма-квант.

Summary

T. Kh. Sadykov, N. N. Zastrozhnova, Y. M. Tautayev, N. K. Zhamaurova

(Institute of Physics and Technology. Almaty, Kazakhstan)

STUDY OF INELASTICITY COEFFICIENT IN THE INTERACTIONS OF COSMIC PARTICLES WITH TARGETS AT ENERGIES GREATER THAN 10^{13} eV

At high altitude cosmic rays research station located in the Tien Shan mountains in altitude 3340 meters above sea level were recorded cosmic ray particles. Here we study the magnitude of the inelasticity coefficient according to REC and ionization calorimeter at energies above 10^{13} eV. Were also carried out a preliminary calculation of the expected values of K_γ depending on the total energy of the gamma -ray families $\sum E_\gamma$ and total interaction energy - E_0 . Our values of K_γ are in good agreement with the calculated results.

Keywords: inelasticity coefficient, ionization calorimeter, gamma quantum.