

*А. Ш. ГАЙТИНОВ, С. А. ИБРАИМОВА, И. А. ЛЕБЕДЕВ, А. И. ФЕДОСИМОВА*

(Физико-технический институт, Алматы, Казахстан)

## ПАРАМЕТРЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ КАСКАДНОЙ КРИВОЙ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ЧИСЛА СЛОЕВ ТОНКОГО КАЛОРИМЕТРА

**Аннотация.** Проведено исследование параметров дискретизации каскадной кривой с целью увеличения точности определения энергии высокоионизирующего излучения на основе тонкого калориметра. Показано, что точность определения энергии можно существенно увеличить, если использовать корреляционные кривые зависимости числа частиц на определенном уровне наблюдения от разности числа частиц на двух соседних уровнях наблюдения, разделенных слоем поглотителя. В результате анализа установлено, что корреляционные кривые представляют собой упорядоченную картину в зависимости от первичной энергии. Флуктуации восходящей ветви корреляционной кривой незначительны, особенно по сравнению с флуктуациями каскадных кривых. При использовании корреляционных кривых также автоматически решается проблема неопределенности первичного ядра, так как корреляционные кривые практически совпадают для различных ядер. Представлены корреляционные кривые с различными значениями толщины поглотителя. Показано, что увеличение слоя поглотителя приводит к увеличению точности определения энергии. Однако увеличение слоя поглотителя увеличивает массу установки. Таким образом, выбор толщины слоя зависит от задач и условий конкретного эксперимента.

**Ключевые слова:** тонкий калориметр, каскадные кривые, флуктуации.

**Тірек сөздер:** жұқа калориметр, каскадты қисықтар, флуктуациялар.

**Keywords:** a thin calorimeter, cascade curves, fluctuations.

**Введение.** Техническое воплощение современных ионизационных калориметров может быть различным, но идея остается простой: первичная частица входит в плотное вещество (например, железо или свинец), в веществе происходят многочисленные ядерные и электромагнитные взаимодействия, которые рождают целый каскад вторичных частиц. Если глубина вещества достаточна,

то вся кинетическая энергия первичной частицы перейдет в каскад вторичных частиц, которые в свою очередь потеряют энергию на ионизацию [1].

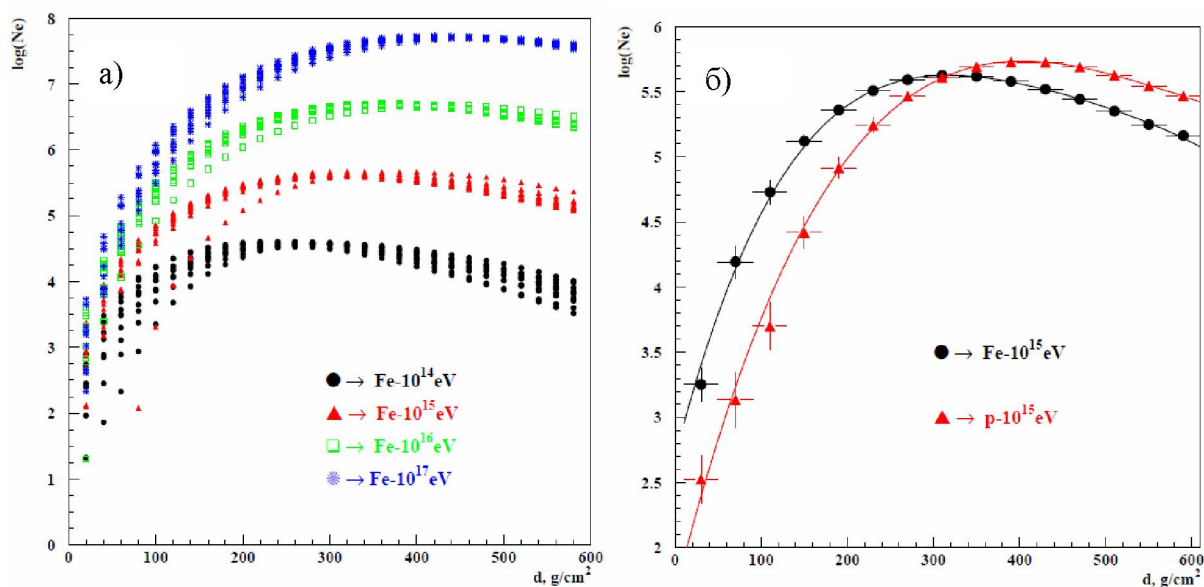
Главная проблема при таком способе измерения энергии – массивные установки, так как калориметр должен иметь достаточно большую глубину для фиксации каскада. Это значительно усложняет возможности использования такого прибора в космической индустрии. В связи с этим, более перспективным для определения энергии на основе прямых измерений КЛ является использование тонкого калориметра [2].

В тонком калориметре не ставится задача фиксации целиком каскада вторичных частиц, а регистрируется только его начало. Энергия определяется на основе анализа каскадных кривых – зависимости размера каскада от глубины его проникновения, поскольку число частиц на небольшой глубине развития каскада почти пропорционально энергии первичной частицы [3].

Низкая точность при таком способе измерений обусловлена тем, что результаты реконструирования энергии существенно зависят от флуктуаций в развитии каскадного процесса и от массы первичного ядра.

Существенно уменьшить влияние флуктуаций в развитии каскада на результаты измерения энергии возможно, используя корреляционные методы анализа развития каскада. Это позволяет значительно повысить точность измерения энергии.

**Метод каскадных кривых.** Для решения задачи измерения энергии высокоэнергичных частиц на основе тонкого калориметра было проведено моделирование развития каскадных процессов, образованных первичными частицами различных масс и энергий на основе пакета программ CORSIKA QGSJET [4]. Результаты моделирования представлены на рисунке 1.



а) Каскадные кривые, образованные ядрами железа с энергиями  $10^{14}$ - $10^{17}$  эВ;  
 б) Средние каскадные кривые, образованные протонами и ядрами Fe с  $E=10^{15}$  эВ

Рисунок 1 – Каскадные кривые, образованные протонами (p) и ядрами железа (Fe) с различными первичными энергиями (E) при прохождении слоя воздуха толщиной  $d$

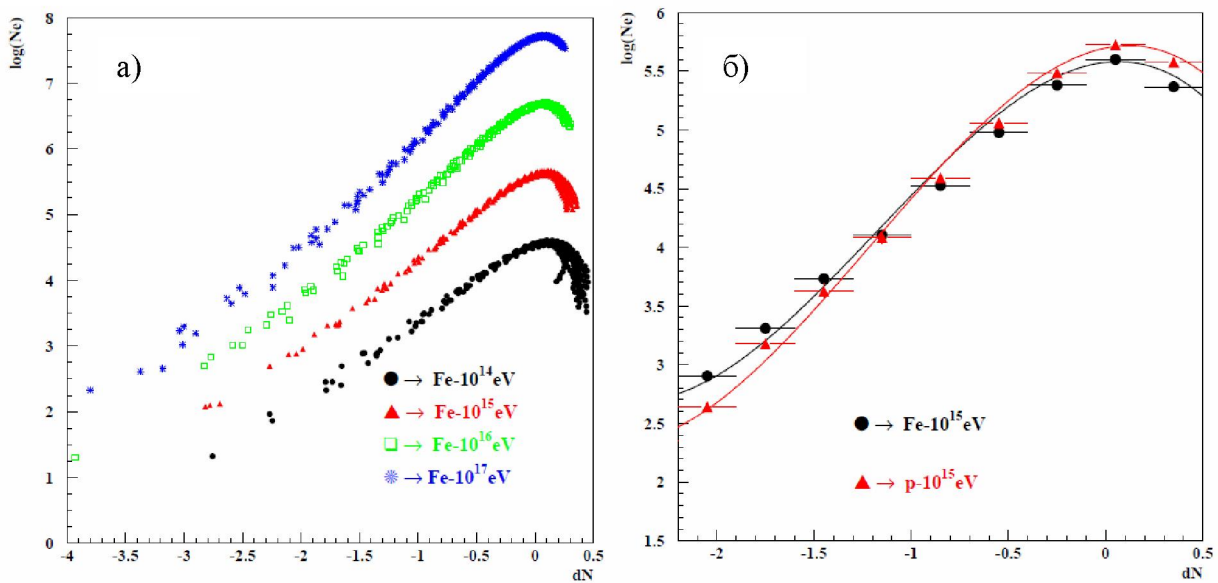
Каскадные кривые, как видно из рисунка 1а, существенно флуктуируют и практически сливаются (не разделимы) при малых значениях глубины проникновения  $d$ .

Из рисунка 1б видно, что каскадные кривые, образованные протоном, сдвинуты в область больших глубин проникновения по сравнению с Fe каскадными кривыми. Этот факт (при таком способе реконструирования первичной энергии) приводит к заниженному значению энергии протонных каскадов и к завышенному значению для Fe каскадов.

**Универсальность развития каскада.** Суть разрабатываемой методики, позволяющей увеличить точность измерения энергии, сводится к тому, чтобы перейти от анализа каскадных кривых, поведение которых сильно зависит от флуктуаций в развитии каскада, к анализу внутренних корреляций.

Основная идея исследования была основана на предположении об универсальности развития каскада [5]. Данное предположение базировалось на следующем. Среди различных причин, вызывающих флуктуации, наибольший эффект дают флуктуации первого акта взаимодействия, поскольку в последующих взаимодействиях число участвующих частиц так велико, что флуктуации индивидуальных взаимодействий более или менее компенсируют друг друга. Следовательно, все каскады, образованные первичными частицами одинаковой массы и энергии, начиная с некоторого момента, развиваются практически одинаково. Данное предположение было подтверждено результатами моделирования.

Для увеличения эффективности тонкого калориметра были проанализированы различные внутренние корреляционные характеристики каскада. Наиболее подходящее распределение имеют корреляционные кривые зависимости числа частиц на определенном уровне наблюдения от разности числа частиц на двух соседних уровнях наблюдения, разделенных слоем поглотителя. На рисунке 2 представлены данные корреляционные кривые для тех же взаимодействий, что и на рисунке 1.



а) Корреляционные кривые, образованные ядрами железа с энергиями  $10^{14}$ - $10^{17}$  эВ;  
б) Средние корреляционные кривые, образованные протонами и ядрами Fe с  $E=10^{15}$  эВ

Рисунок 2 – Корреляционные кривые, образованные протонами и ядрами железа при прохождении слоя воздуха толщиной  $d$

Корреляционные кривые, как видно из рисунка 2а, представляют собой более упорядоченную картину. Флуктуации восходящей ветви корреляционной кривой не столь значительны, как в случае каскадных кривых. Дополнительно, использование корреляционных кривых позволяет существенно уменьшить ошибки определения энергии первичной частицы, связанные с неопределенностью первичного ядра. Из рисунка 2б видно, что корреляционные кривые практически совпадают для обоих типов ядер.

Следующий важный вопрос касается точности определения энергии первичной энергии и выбора оптимальной толщины слоя поглотителя с целью минимизации числа слоев тонкого калориметра. Для решения этой задачи проведено моделирование корреляционных кривых с различными значениями толщины поглотителя, представленные на рисунке 3.

Необходимо отметить, что упорядоченная картина сохраняется и при малой толщине поглотителя  $dN \sim 40$  г/см<sup>2</sup> (см. рисунок 3а) и при большой  $dN \sim 100$  г/см<sup>2</sup> и более (см. рисунок 3б). Предварительный расчет точности определения энергии показал, что уменьшение толщины слоя поглотителя приводит к уменьшению точности определения энергии. Однако большой слой поглотителя увеличивает массу установки. Таким образом, выбор толщины слоя зависит от задач и условий конкретного эксперимента.

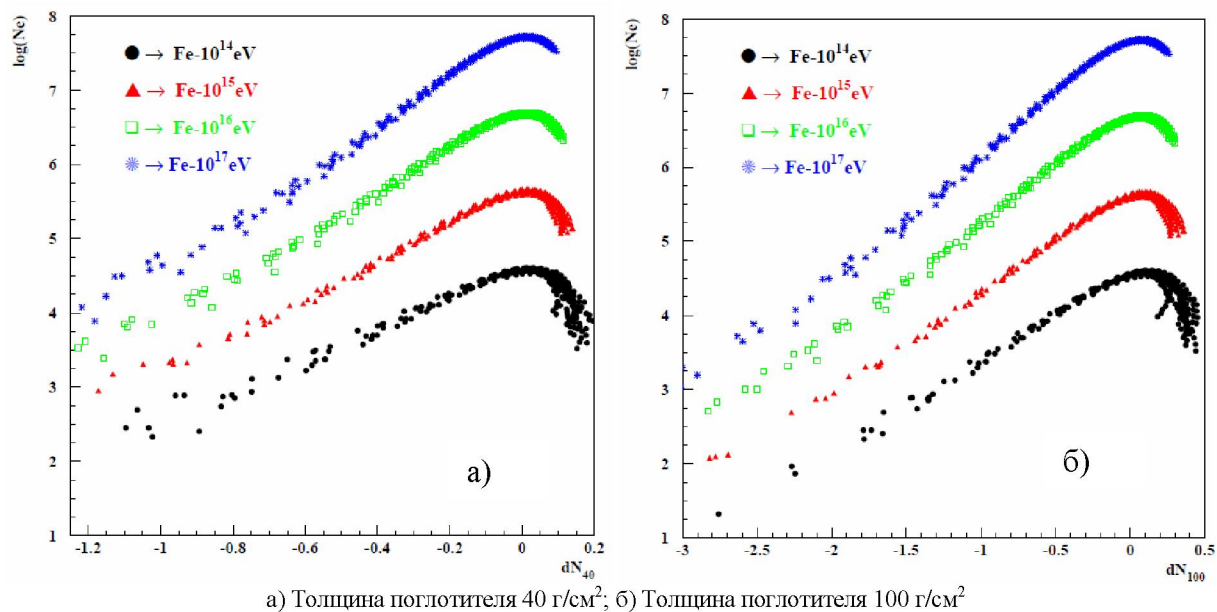


Рисунок 3 – Корреляционные кривые, образованные ядрами железа с энергиями  $10^{14}$ эВ,  $10^{15}$ эВ,  $10^{16}$ эВ,  $10^{17}$ эВ при прохождении слоя воздуха  $d = 600$  г/см<sup>2</sup>

Работа поддержана грантом МОН РК №1276/ГФ2.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Мурзин В.С. Астрофизика космических лучей. М.: МГУ, 2006. – 668 с.
- 2 Панасюк М.И. и др. Тайна происхождения галактических космических лучей // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика, астрономия – 2012. – № 6. – С. 25-30. <http://www.roskosmos.ru/Doc1Show.asp?DocID=17>.
- 3 Булатов В.Л. и др. Тестирование технологического образца установки "НУКЛЕОН" на пионном пучке // ПТЭ – 2010. – № 1. – С. 34–41
- 4 Heck D., Knapp J., Capdeville J.N., Schatz G., Thouw T. CORSIKA: A Monte Carlo Code to Simulate Extensive Air Showers // FZKA 6019, Karlsruhe. – 1998. – 89 p.
- 5 Apel W.D., Boos E.G., Lebedev I.A. et al. Applying Shower Development Universality to KASCADE data // Astropart. Phys. 2008. Vol. 29, N 6. P. 412-419.

#### REFERENCES

- 1 Murzin V.S. Astrophysica kosmicheskikh luchey. Moskva, MGU, 2006. 668p. (in Russ.)
- 2 Panasyuk M.I. et al. Tayna proishozhdeniya galakticheskikh kosmicheskikh luchey Vestnik Moscovskogo universiteta. Seriya 3. Fizika, Astronomiy, 2012. N6. P. 25-30. <http://www.roskosmos.ru/Doc1Show.asp?DocID=17>. (in Russ.)
- 3 Bulatov V.L. et al. Testirovanie technologicheskogo obrazca ustanovki "NUCLEON" na pionnom puchke PTE 2010. N1. P. 34–41 (in Russ.)
- 4 Heck D., Knapp J., Capdeville J.N., Schatz G., Thouw T. CORSIKA: A Monte Carlo Code to Simulate Extensive Air Showers // FZKA 6019, Karlsruhe. – 1998. – 89 p.
- 5 Apel W.D., Boos E.G., Lebedev I.A. et al. Applying Shower Development Universality to KASCADE data // Astropart.Phys. 2008. Vol. 29, N 6. P. 412-419.

#### Резюме

А. Ш. Гайтинов, С. А. Ыбрайымова, И. А. Лебедев, А. И. Федосимова

(Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан)

#### ЖҰҚА КАЛОРИМЕТР ҚАБАТТАРЫ САНЫН МИНИМИЗАЦИЯЛАУ ҮШІН КАСКАДТЫ ҚИСЫҚТЫҢ ДИСКРЕТИЗАЦИЯСЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІ

Жұқа калориметр негізде, жоғары иондаушы сәулеленудің энергиясын анықтау дәлдігін ұлғайту мақсатымен каскадты қисықты дискретизациялау параметрлерінің зерттеуі өткізілген. Энергияны анықтау дәлділігін, егер бақылаудың белгілі бір деңгейіндегі бөлшектер санының жұтқыш қабатымен бөлінген,

бақылаудың екі көрші деңгейлеріндегі бөлшектер саны айырмасынан тәуелділігінің корреляциялық қисықтарын пайдаланса айтарлықтай үлкейтуге болатыны көрсетілді. Талдау нәтижесінде, корреляциялық қисықтары бастапқы энергиядан тәуелді реттелген көріністер болатыны көрсетілді. Корреляциялық қисықтың көтерілетін тармағының флуктуациясы, әсіресе каскадты қисықтар флуктуацияларымен салыстырғанда болмашы. Корреляциялық қисықтарды пайдалану кезінде, сондай-ақ бастапқы ядроның белгісіздік мәселесі автоматты түрде шешіледі, өйткені іс жүзінде барлық ядролар үшін корреляциялық қисықтар бір-біріне дәл келеді. Жұтқыш қалыңдығының әртүрлі мәндерімен корреляциялық қисықтар ұсынылған. Жұтқыш қабатының ұлғаюы энергияны дәл анықтауға мүмкіндік беретіні көрсетілді. Дегенмен жұтқыш қабатының ұлғаюы қондырғы массасын көбейтеді. Сонымен қабаттың қалыңдығын таңдау, нақты эксперименттің міндеттері мен шарттарынан тәуелді болады.

**Тірек сөздер:** жұқа калориметр, каскадты қисықтар, флуктуациялар.

### Summary

*A. Sh. Gaitinov, S. A. Ibraimova, I. A. Lebedev, A. I. Fedosimova*

(Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan)

### PARAMETRES OF DIGITIZATION OF A CASCADE CURVE FOR MINIMIZATION OF NUMBER OF LAYERS OF A THIN CALORIMETER

Research of parameters of digitization of a cascade curve for increase in accuracy of energy definition of high ionizing radiations on the basis of a thin calorimeter, is carried out. It is shown, that accuracy of energy reconstruction can be increased essentially if to use correlation curve dependences of number of particles at observation level versus a difference of number of particles at two next observation levels divided by an absorber layer. As a result of the analysis it is shown, that correlation curves represent the ordered picture depending on primary energy. Fluctuations of an ascending branch of a correlation curve are insignificant, especially in comparison with fluctuations of cascade curves. At use of correlation curves also the problem of uncertainty of a primary nucleus is unessential as correlation curves practically coincide for different nuclei. Correlation curves with various values of a thickness of an absorber are presented. It is shown, that the increase in a layer of an absorber leads to increase in accuracy of definition of energy. However the increase in a layer of an absorber increases weight of installation. Thus, the choice of a thickness of a layer depends on tasks and conditions of concrete experiment.

**Keywords:** a thin calorimeter, cascade curves, fluctuations.