

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ПЛОТНОСТЕЙ ШАЛ ПО ДАННЫМ УСТАНОВКИ TUNKA-GRANDE

А.К. Сагдеева, А.Л. Иванова, Р.Д. Монхоев

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия
mikfor573@gmail.com

INVESTIGATING THE EAS DENSITY SPECTRUM ACCORDING TO DATA FROM THE TUNKA-GRANDE INSTALLATION

A.K. Sagdeeva, A.L. Ivanova, R.D. Monkhoev

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia
mikfor573@gmail.com

Аннотация. Космические лучи (КЛ) являются источником частиц высоких и сверхвысоких энергий и играют важную роль при изучении строения вещества и взаимодействий между элементарными частицами. Важнейшей характеристикой КЛ является энергетический спектр, который показывает распределение интенсивности космических лучей в зависимости от энергии. Основная особенность энергетического спектра КЛ — его степенной характер. В данной работе была проведена проверка степенного характера энергетического спектра, а именно, на основе данных установки Tunka-Grande построены интегральные спектры широких атмосферных ливней и вычислены их степенные коэффициенты.

Ключевые слова: космические лучи, энергетический спектр, интегральный спектр.

Abstract. Cosmic rays (CRs) are a source of particles of high and ultrahigh energies and play an important role in the study of the structure of matter and interactions between elementary particles. The most important characteristic of CRs is the energy spectrum showing the distribution of the CR intensity, depending on energy. The main feature of the CR energy spectrum is its power-law character. We verified the power-law nature of the energy spectrum, constructed integral spectra of extensive air showers and calculated their power coefficients, using data from the Tunka-Grande installation.

Keywords: cosmic rays, energy spectrum, integral spectrum.

ВВЕДЕНИЕ

Космические лучи (КЛ) являются природным источником частиц высоких и сверхвысоких энергий и позволяют получать информацию как о микромире, т. е. о природе и взаимодействиях элементарных частиц и ядер, так и о крупномасштабных процессах, происходящих не только в нашей Галактике, но и за ее пределами [Murzin, 2006]. Поскольку поток космических лучей резко падает с увеличением энергии, то единственно возможным методом исследования КЛ с энергией от 100 ТэВ и выше является косвенный метод, основанный на регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ), возникающих при взаимодействии первичных частиц КЛ с атмосферой Земли [Miroshnichenko, 1973]. Данный метод реализуется с помощью наземной системы синхронно работающих детекторов [Budnev et al., 2021], размещенных на большой площади [Ivanova et al., 2021].

Одной из важнейших характеристик КЛ является их энергетический спектр — изменение их интенсивности с энергией [Postnov et al., 2005]. Данная исследовательская работа связана с изучением главной особенности энергетического спектра КЛ — падением интенсивности по степенному закону [Rakobolskaya et al., 2006].

УСТАНОВКА TUNKA-GRANDE

Сцинтилляционная установка Tunka-Grande, расположенная в Тункинской долине ($\varphi=51^{\circ}48'47.5''$ N, $\lambda=103^{\circ}04'16.3''$ E, $h=670$ м над уровнем моря), в 50 км от оз. Байкал, входит в состав гамма-обсерватории TAIGA. Установка включает в себя 19 сцинтилляционных станций (рис. 1), каждая из которых состоит из наземной и подземной части.

Наземная часть станции состоит из 12 сцинтилля-

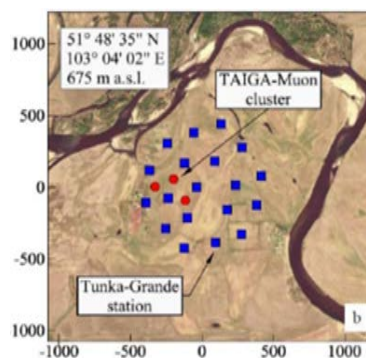


Рис. 1. Расположение сцинтилляционных станций установки Tunka-Grande

ционных счетчиков общей рабочей площадью порядка 8 м^2 и ведет регистрацию всех заряженных частиц на уровне установки, подземная же, состоящая из 8 аналогичных счетчиков общей рабочей площадью порядка 5 м^2 , предназначена для выделения мюонной компоненты ШАЛ.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР

Важнейшей характеристикой космических лучей является энергетический спектр — распределение интенсивности КЛ в зависимости от энергии. Одна из основных особенностей энергетического спектра КЛ — его падение с ростом энергии по степенному закону.

На сегодня основным механизмом, объясняющим процесс ускорения КЛ, приводящий к степенному виду энергетического спектра, является стохастический механизм ускорения Ферми. Предположительно, он позволяет ускорить частицы КЛ до энергий $\sim 10^{16} - 10^{17}$ эВ.

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ СПЕКТР ШАЛ ПО ДАННЫМ УСТАНОВКИ TUNKA-GRANDE

При исследовании КЛ косвенным методом ШАЛ регистрируются не сами первичные частицы, а потоки вторичных частиц, возникшие при взаимодействии первичных частиц с атмосферой Земли. Ключевым моментом в этом процессе является то, что число вторичных частиц в ШАЛ пропорционально энергии породившей его первичной частицы. Поэтому степенной индекс интегрального спектра, построенного по данным о вторичных частицах ШАЛ, совпадает с величиной степенного индекса энергетического спектра первичных КЛ.

Для проверки были построены интегральные спектры по данным установки Tunka-Grande (рис. 2, 3).

Степенной индекс интегрального спектра событий в наземных детекторах составляет $\gamma \sim 1.8 \pm 0.1$, что соответствует значению индекса для интегрального энергетического спектра КЛ при энергиях выше 0.1 ПэВ.

Однако интегральный спектр по данным подземных детекторов, регистрирующих мюонную компоненту ШАЛ, оказался значительно более пологим, чем интегральный спектр по данным наземных детекторов. Для него значение степенного индекса составило: $\gamma \sim 1 \pm 0.1$. Возможно, подобное различие между наклонами интегральных спектров по данным наземных и подземных детекторов связано с тем, что в отличие от наземных детекторов, регистрирующих все заряженные частицы ШАЛ, подземные детекторы в основном регистрируют мюоны.

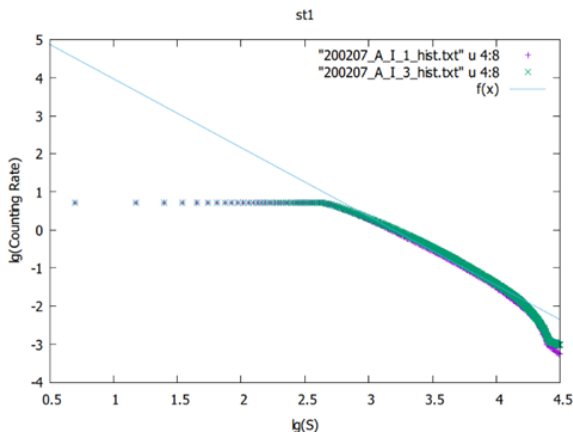


Рис. 2. Интегральный спектр по данным наземного детектора

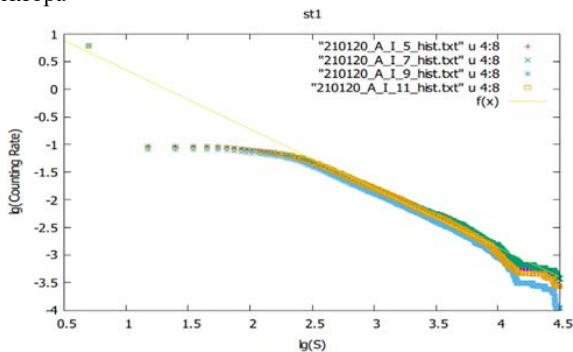


Рис. 3. Интегральный спектр по данным подземного детектора

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было проведено вычисление степенного коэффициента интегрального спектра. Было обнаружено, что степенной индекс интегрального спектра событий в наземных детекторах составляет $\gamma \sim 1.8 \pm 0.1$ и совпадает с индексом интегрального спектра для энергий выше 0.1 ПэВ. Степенной коэффициент интегрального спектра в подземных детекторах отличается от действительного значения и составляет $\gamma \sim 1 \pm 0.1$.

Полученные результаты требуют дальнейшего исследования. Планируется осуществить подробное моделирование процесса регистрации частиц ШАЛ сцинтилляционными детекторами установки Tunka-Grande и сравнить полученные данные с результатами эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Budnev N. et al. (TAIGA Collaboration). TAIGA — an advanced hybrid detector complex for astroparticle physics, cosmic ray physics and gamma-ray astronomy. *PoS ICRC2021*. 2021. Vol. 395, iss. 731. 9 p.

Ivanova A.L. et al. (Tunka Collaboration). Tunka-Grande array for high-energy gamma-ray astronomy and cosmic-ray physics: preliminary results. *PoS ICRC2021*. 2021. Vol. 395, iss. 361, 8 p.

Miroshnichenko L.I. Cosmic rays in interplanetary space 1973.

Murzin V.S. Astrophysics of cosmic rays. 2006.

Rakobolskaya I.V., Kalmykov N.N., Kovtyukh A.S., Svertilov S.I. Introduction to the physics of cosmic rays 2006.

Postnov K. A., Zasov A.V. Course of general astrophysics. 2005.