УДК 520.16, 524.1 DOI: 10.62955/0135-3748-2024-25

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ НА ВАРИАЦИИ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЧАСТИЦ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ УСТАНОВКИ TUNKA-GRANDE

В.А. Ерофеева, С.Д. Малахов от коллаборации TAIGA

Научно-исследовательский институт прикладной физики иркутского государственного университета, Иркутск, Россия, lalala02-02@mail.ru

INFLUENCE OF ATMOSPHERIC EFFECTS ON VARIATIONS IN THE PARTICLE FLUX DENSITY OF EXTENSIVE ATMOSPHERIC SHOWERS ACCORDING TO EXPERIMENTAL DATA FROM THE TUNKA-GRANDE ARRAY

V.A. Erofeeva, S.D. Malakhov, collaboration TAIGA

Applied Physics Institute of Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Аннотация. Сцинтилляционная установка Tunka-Grande предназначена для детектирования заряженной компоненты широких атмосферных ливней, инициированных космическими лучами высоких и сверхвысоких энергий. Ливни, в процессе своего развития в атмосфере Земли, претерпевают различные вариации, обусловленные ее состоянием. Учёт этих вариаций позволяет точнее определять параметры первичного космического излучения. В статье представлены результаты исследования барометрического и температурного эффектов по экспериментальным данным установки Tunka-Grande.

Ключевые слова: TAIGA, Tunka-Grande, космические лучи, широкие атмосферные ливни, барометрический коэффициент, температурный коэффициент

Abstract. Tunka-Grande scintillation array is constructed to detect the charged part of extensive air showers produced by high and ultra-high energy cosmic rays. Showers, in the process of their development in the Earth's atmosphere, undergo different variations due to its condition. Taking account of these variations makes it possible to determine the parameters of primary cosmic particle more accurately. This paper presents the results of a study of barometric and temperature effects based on experimental data from the Tunka-Grande array.

Keywords: TAIGA, Tunka-Grande, cosmic rays, extensive air shower, barometric coefficient, temperature coefficient

ВВЕДЕНИЕ

Исследование первичных космических лучей (ПКЛ) высоких и сверхвысоких энергий ($E > 10^{15}$ эВ) — актуальная задача современной астрофизики. Обладая недоступной в земных условиях энергией, ПКЛ являются ценными источниками информации о неизведанных процессах и взаимодействиях. Однако их поток настолько быстро уменьшается с ростом энергии, что прямые методы регистрации при текущем развитии науки и техники неэффективны. Поэтому возникает необходимость использовать косвенные методы. Попадая в атмосферу Земли, частицы ПКЛ запускают каскад взаимодействий, порождающий поток вторичных частиц и сопутствующие излучения (черенковское, радио, флуоресценция), которые доходят до поверхности Земли и покрывают площади до десятков и сотен квадратный километров. Данное явление называется широкими атмосферными ливнями (ШАЛ). Регистрируя частицы и излучения ШАЛ, возможно определять параметры первичного излучения. На данный момент задачи, направленные на повышение точности реконструкции характеристик ПКЛ, весьма актуальны. К одной из таких задач относится учет атмосферных явлений, а именно барометрического и температурного эффектов.

Расположенный в Тункинской долине астрофизический комплекс TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic rays and Gamma Astronomy) предназначен для исследования ПКЛ путём регистрации ШАЛ [Budnev, 2022]. Установка Tunka-Grande, являющаяся частью этого комплекса, создана для детектирования заряженной компоненты ШАЛ [Монхоев, 2023], состоит из 19 станций на площади ~ 1 км^2. Расположенные внутри станций датчики давления и температуры позволяют оценить корреляции метеоэффектов и плотности потока частиц ШАЛ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

На рис. 1 представлены графики изменения среднечасовых значений темпа счёта наземной части одной из станций установки Tunka-Grande, атмосферного давления и температуры внутри станции за период с февраля по апрель 2023 г., метеоданные взяты с датчиков установки Tunka-Grande. Можно увидеть антикорреляцию темпа счёта станции и давления, это подтверждает факт наличия барометрического эффекта. Следует отметить, что такое поведение характерно для всех станций установки Tunka-Grande.

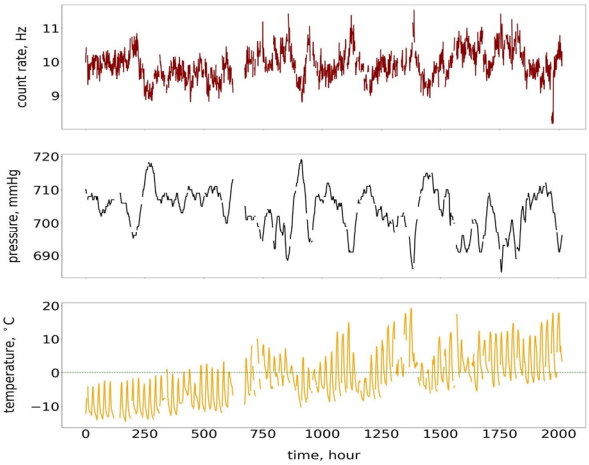

Рис. 1. График зависимости темпа счета одной из станций, атмосферного давления и температуры от времени

БАРОМЕТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

На рис. 2 продемонстрирован график зависимости среднечасовых значений темпа счёта от атмосферного давления по аналогичным экспериментальным данным, на основе которого рассчитан барометрический коэффициент. Формула для расчета барометрического коэффициента:

$$\beta = \frac{k}{f_0} * 100\%,$$

где f_0 — значение среднего темпа счёта за период наблюдений, k – показатель наклона аппроксимирующей функции вида:

$$f\ (P) = k * P + b.$$

После анализа экспериментальных данных получено значение $k \approx$ -0.0528 Гц/мм рт.ст., b=47.1±0.697 Гц и $f_0 \approx$ 9.9±0.7 Гц. Учитывая это, значение барометрического коэффициента составило приблизительно β = -0.53 %/мм рт ст.

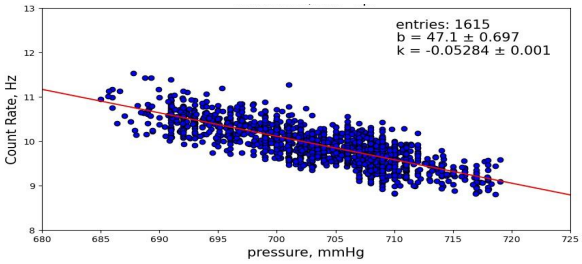

Рис. 2. График зависимости темпа счёта станции от атмосферного давления. Красная линия — линейная аппроксимация

Температурный эффект

Далее по данным темпа счета с учетом барометрического коэффициента был построен график зависимости темпа счета от температуры. График представлен на рис. 3. На основе этих данных был вычислен температурный коэффициент. Формула для расчета температурного коэффициента по аналогии с барометрическим коэффициентом:

$$\tau = \frac{k}{f_0} * 100\%,$$

где f_0 — значение среднего темпа счёта за период наблюдений, k — показатель наклона аппроксимирующей функции вида

$$f\ (T) = k * T + b.$$

После анализа экспериментальных данных получено значение $k \approx$ -0.00479±0.0009 Гц/мм рт.ст., b=9.89±0.0066 Гц и $f_0 \approx$ 9.9±0.7 Гц. Учитывая это, температурный коэффициент составил приблизительно $\tau =$ -0.048 %/°C.

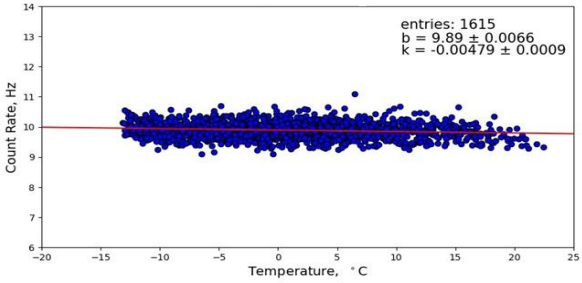

Рис. 3. График зависимости темпа счёта станции от температуры. Красная линия — линейная аппроксимация

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе было выполнено изучение влияния атмосферных эффектов на вариации плотности потока частиц ШАЛ по экспериментальным данным одной из станции установки Tunka-Grande за период с февраля по апрель 2023 года. Вычислен барометрический коэффициент, который составил β = -0.53 %/мм рт.ст. Учет влияния давления в экспериментальных данных позволил показать, что вклад температурного эффекта в вариации темпа счёта мал. Вычисленный при этом коэффициент составляет τ=-0.048 %/°C.

Финансирование работы

Исследование поддержано грантом Иркутского государственного университета для молодых ученых № (091-23-306) «Определение барометрического коэффициента установки Tunka-Grande».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Монхоев Р.Д. Сцинтилляционная установка Tunka-Grande: статус, результаты и планы // Письма в ЭЧАЯ. 2023. V. 20, N 5. P. 1117–1136. DOI: 10.1134/S1547477123050552

Budnev N. et al. TAIGA - A hybrid array for high energy gamma-ray astronomy and cosmic-ray physics // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2022. V. 1039. P. 167047. DOI: 10.1016/j.nima.2022.167047