

## ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЮОНОВ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ БАЙКАЛЬСКОГО НЕЙТРИННОГО ТЕЛЕСКОПА

<sup>1</sup>А.В. Козлова, <sup>1</sup>Ю.А. Казарина, <sup>2</sup>Д.Г. Костюнин

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия  
nastusha.kozlova99@mail.ru

<sup>2</sup>Немецкий электронный синхротрон, Цойтен, Германия

## STUDYING DISTRIBUTION OF AIR-SHOWER MUONS ON THE SURFACE OF BAIKAL-GVD

<sup>1</sup>A.V. Kozlova, <sup>1</sup>Yu.A. Kazarina, <sup>2</sup>D.G. Kostunin

<sup>1</sup>Irkutsk State University, Irkutsk, Russia,  
nastusha.kozlova99@mail.ru

<sup>2</sup>Deutsches Elektronen-Synchrotron, Zeuthen, Germany

**Аннотация.** Байкальский нейтринный телескоп — крупнейший телескоп в Северном полушарии. Атмосферные мюоны для данного типа детекторов представляют собой важнейший источник фона. В данной статье анализируется распределение мюонов на поверхности Байкальского нейтринного телескопа путем моделирования в пакете CORSIKA.

**Ключевые слова:** нейтрино, Байкальский нейтринный телескоп, атмосферные мюоны, CORSIKA.

**Abstract.** Baikal neutrino telescope is the largest telescope in the Northern Hemisphere. Atmospheric muons are the most important source of background for this type of detector. In this article the distribution of muons on the surface of the Baikal Neutrino Telescope is analyzed by using simulation package CORSIKA.

**Keywords:** neutrino, Baikal neutrino telescope, atmospheric muons, CORSIKA.

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время особое внимание исследователей обращено на нейтрино астрофизического происхождения. Они дают возможность получать информацию об удаленных космических объектах и процессах, происходящих внутри них.

Чтобы зарегистрировать нейтрино высоких энергий, необходимо развертывание детекторов объемом  $\sim 1 \text{ км}^3$  в естественных средах (лед, вода). Одним из источников фонов для данного типа детекторов являются атмосферные мюоны. Перед тем, как приступить к регистрации, необходима проверка работы всех элементов установки, в частности их совместной работы. И одним из таких способов является регистрация атмосферных мюонов, которые позволяют производить калибровку телескопа.

В данной статье представлен результат исследования распределения мюонов при моделировании ШАЛ в пакете CORSIKA с определенными входными параметрами.

### БАЙКАЛЬСКИЙ НЕЙТРИННЫЙ ТЕЛЕСКОП

Байкальский нейтринный телескоп (Baikal-GVD, Baikal GigaVolume Detector) нацелен на исследование высокоэнергетических процессов в астрофизических объектах во Вселенной посредством регистрации нейтрино высоких энергий.

Основными регистрирующими элементами Байкальского телескопа являются фотоэлектронные умножители (ФЭУ). ФЭУ вместе с управляющей электроникой размещаются в глубоководных стеклянных корпусах, образуя оптические модули [<http://inspirehep.net/record/1692193>].

Регистрация нейтрино высоких энергий на Baikal-GVD основано на регистрации черенковского излучения вторичных частиц, рожденного во взаи-

модействии нейтрино внутри или вблизи объема детектора.

В качестве вторичных частиц рассматриваются мюоны. Их преимущество в том, что они имеют малые энергетические потери в среде и большое время жизни.

Метод регистрации нейтрино с помощью мюонов представляет собой мощный инструмент для исследования космических объектов галактического и внегалактического происхождения.

Нейтринные телескопы устанавливаются на большой глубине для защиты от фонового излучения.

### АТМОСФЕРНЫЕ МЮОНЫ

Как было сказано выше, атмосферные мюоны являются источником естественного неустранимого фона, который существенно осложняет выделение полезного сигнала от нейтрино, приходящих с верхней полусферы Земли.

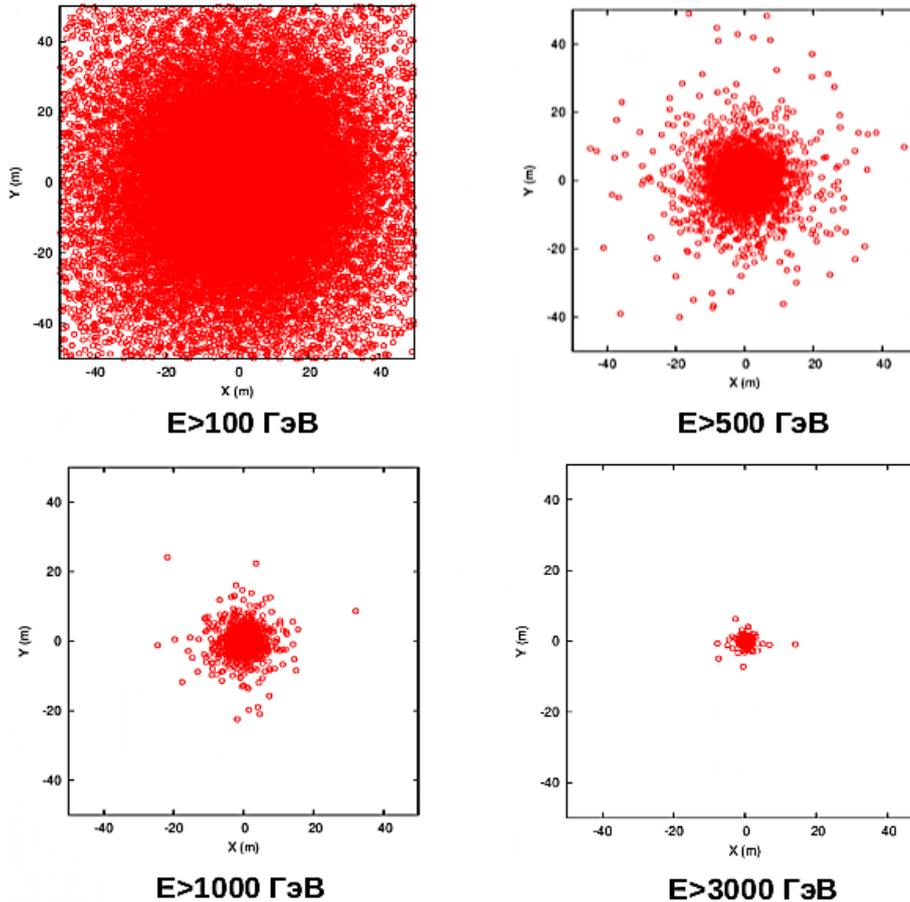
Атмосферные мюоны образуются в ШАЛ (из распадов пионов и каонов), начало которому дает космическая частица высокой энергии.

Для подавления фона от атмосферных мюонов выполняется выделение событий из нижней полусферы, обусловленных взаимодействием нейтрино сквозь Землю.

Но атмосферные мюоны могут быть использованы в качестве калибровочного источника, в частности для исследования отклика детектора и определения межканальных временных сдвижек [Avrorin et al., 2015, 2016].

Результаты регистрации атмосферных мюонов можно использовать для временной калибровки каналов секции и стабильности их работы.

Моделирование распределения атмосферных мюонов проводилось в программном пакете CORSIKA 7.6900.



Распределение мюонов на поверхности детектора

## CORSIKA

CORSIKA (Cosmic Ray Simulations for KASCADE) — пакет компьютерных программ, использующих метод Монте-Карло, для моделирования широких атмосферных ливней. Пакет применяется для изучения развития и свойств широких атмосферных ливней в атмосфере [Heck et al., 1998].

Программный пакет CORSIKA 7.6900 позволяет симулировать взаимодействие и распад компонент ШАЛ в атмосфере с энергиями вплоть до  $\sim 10^{20}$  эВ.

Программа позволяет задать до десяти уровней наблюдения, позволяет задать геометрию детектора, оперирует 50 элементарными частицами, а также ядрами элементов (вплоть до элементов с  $A=56$ ).

## ЧАСТИЦЫ НА ПОВЕРХНОСТИ

В данном разделе представлен пример распределения атмосферных мюонов на поверхности детектора. Данная модель была получена с помощью программы CORSIKA.

На рисунке представлен пример распределения атмосферных мюонов при различных энергиях.

Данные распределения были получены при моделировании ШАЛ со следующими входными параметрами: первичная частица космических лучей — ядро железа (Fe) с энергией  $E=10^{18}$  эВ и вертикальным направлением прихода.

По данным распределениям видно, что высокоэнергетические ШАЛ являются источником атмосферных мюонов, способных достичь объема нейтрин-

ного детектора, тем самым затрудняя регистрацию нейтрино высоких энергий, приходящих «сверху».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в данной статье был рассмотрен Байкальский нейтринный телескоп и принципы, по которым производится регистрация нейтрино на данном детекторе. Чтобы производить точную регистрацию событий, важна правильная работа всей установки. Для этого важно постоянно учитывать фон атмосферных мюонов, помогающий производить разные виды калибровки телескопа. По результатам были сделаны выводы, что мюоны при повышении пороговой энергии телескопа все равно с высокой вероятностью приходят в детектор.

На следующем этапе планируется детальное моделирование мюонных ШАЛ по результатам отклика Baikal-GVD с учетом таких параметров, как тень Луны, тень берега и группы мюонов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Avrorin A.D., et al. Data acquisition system for the Baikal-GVD neutrino telescope // J. Phys. Elementary Particles and Atomic Nuclei. 2016. V. 47, N 6. P. 933–937.

Avrorin A.D., et al. Status and recent results of the Baikal-GVD project // Physics of Particles and Nuclei. 2015. V. 46, N 2. P. 211–221.

Heck D., et al. CORSIKA: A Monte Carlo Code to Simulate Extensive Air Showers, report FZKA 6019, Forschungszentrum Karlsruhe, 1998.

URL: <http://inspirehep.net/record/1692193>.