

## АСТРОНОМИЯ, АСТРОФИЗИКА И КОСМОЛОГИЯ

**Моделирование сцинтилляционного эксперимента Тунка-133**

Н. М. Буднев<sup>1</sup>, А. Л. Иванова<sup>1,a</sup>, Н. Н. Калмыков<sup>2</sup>, Л. А. Кузьмичёв<sup>2</sup>,  
В. П. Сулаков<sup>2</sup>, Ю. А. Фомин<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup> НИИ прикладной физики, Иркутский государственный университет.  
Россия, 664003, Иркутск, бульвар Гагарина, д. 20.

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобелцына.  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.  
E-mail: <sup>a</sup>annaiv.86@mail.ru, <sup>b</sup>fomin@eas.sinp.msu.ru

Статья поступила 20.03.2014, подписана в печать 31.03.2014.

Приводится описание проекта сцинтилляционного комплекса модернизированной установки Тунка-133. Представлен программный пакет, разработанный для моделирования регистрации и обработки событий будущей сцинтилляционной частью установки Тунка-133. Описаны основные моменты моделирования. Приведены результаты расчета ШАЛ по программе Aires.

*Ключевые слова:* космические лучи, широкие атмосферные ливни ШАЛ, установка Тунка-133, моделирование методом Монте-Карло.

УДК: 524.1. PACS: 96.50.sd, 96.50.sb.

**Введение**

Исследование первичных космических лучей (ПКЛ) в энергетическом диапазоне  $10^{16}$ – $10^{18}$  эВ имеет существенное значение для понимания природы их происхождения. Если при меньших энергиях космические лучи могут ускоряться в оболочках сверхновых в нашей Галактике, то в этом диапазоне должен происходить переход от галактических к внегалактическим космическим лучам [1–5]. Единственным методом изучения ПКЛ в указанном диапазоне энергий является регистрация широких атмосферных ливней (ШАЛ).

Для регистрации ШАЛ в диапазоне  $10^{16}$ – $10^{18}$  эВ требуются установки площадью  $\sim 1$  км<sup>2</sup> и расстоянием между детекторами не более 100 м. Для увеличения количества и качества информации о регистрируемом ШАЛ перспективным представляется регистрация установкой не одной, а нескольких компонент ливня, например черенковского излучения, а также мюонной и электронной составляющих [6].

На установке Тунка-133, расположенной в Тункинской долине (республика Бурятия) в 50 км от озера Байкал, исследование космических лучей сверхвысоких энергий проводится с 2009 г. [7–9]. Установка регистрирует черенковский свет, излучаемый в атмосфере заряженными частицами ШАЛ, и состоит из 175 оптических детекторов, расположенных на площади 3 км<sup>2</sup>. Детекторы объединены в 25 кластеров, по 7 детекторов в каждом. Шесть детекторов одного кластера расположены в вершинах правильного шестиугольника, один в центре. Расстояние между детекторами 85 м.

Дополнение установки Тунка-133 сцинтилляционными детекторами мюонов и электронов позволит в ближайшем будущем получать качественно новые экспериментальные данные о космических лучах в области энергий  $10^{16}$ – $10^{18}$  эВ.

**1. Сцинтилляционные станции в составе установки Тунка-133**

В 2013 г. началось развертывание сети сцинтилляционных станций для совместной работы с установкой Тунка-133.

Каждая сцинтилляционная станция установки Тунка-133 [7] будет включать в себя детектор электронов, состоящий из 12 локальных сцинтилляционных детекторов общей площадью 8 м<sup>2</sup>, и детектор мюонов общей площадью 5 м<sup>2</sup>, состоящий из 8 аналогичных локальных детекторов. Мюонный детектор будет располагаться под слоем грунта 1.5 м в непосредственной близости от детектора электронов. Устанавливать сцинтилляционные детекторы электронов планируется в специальных контейнерах на расстоянии не более 30 м от центров внутренних кластеров черенковской установки Тунка-133.

Электроника сцинтилляционной станции во многом совпадает с электроникой кластера установки Тунка-133. Дополнительным является наличие в каждой станции двух шестиканальных аналоговых сумматоров сигналов с детектора электронов. Составляющие электронный детектор 12 локальных сцинтилляционных детекторов разделены на две половины и подключены к двум разным сумматорам. Станции могут передавать информацию как о поступлении «внешнего» триггерного сигнала от ближайшего кластера установки Тунка-133, так и о поступлении сигнала от «локального» триггера детектора электронов. Условие выработки локального триггера — наличие сигнала от релятивистской частицы на выходе каждого сумматора в пределах 100 нс.

Всего сцинтилляционный комплекс будет содержать 19 сцинтилляционных станций, размещенных на территории черенковской установки Тунка-133 в круге