

ПОИСК ИСТОЧНИКОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ МУЛЬТИ-ТЭВ ЭНЕРГИЙ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ TUNKA-HISCORE

В.С. Самолига

SEARCH OF SOURCES OF COSMIC RAYS OF MULTI-TeV ENERGIES WITH TUNKA-HISCORE SYSTEM

V.S. Samoliga

Работа связана с поиском источников космических лучей мульти-ТэВных энергий методами наземной гамма-астрономии. Сравниваются имиджевый и сэмпинговый методы детектирования ШАЛ и отмечается польза их взаимодействия. Подчеркивается дешевизна сэмпинговых установок при покрытии больших площадей сбора данных. Перечислены основные этапы моделирования установки Tunka-HiSCORE, сообщаются ее цели и задачи.

The article deals with search of sources of cosmic rays of multi-TeV energies with ground-based gamma-ray astronomy methods. Imaging and sampling EAS detection methods are compared and the benefit from their cooperation is noted. Special attention is paid to low price of sampling systems in case of covering of large data collection areas. The key stages of modeling of Tunka-HiSCORE system are enumerated and its purposes and tasks are reported.

В последние десятилетия наземная гамма-астрономия высоких энергий стала динамично развивающейся областью астрофизики высоких энергий. Преимущество гамма-излучения как канала информации от мощных галактических и внегалактических источников перед космическими лучами состоит в том, что оно распространяется напрямую от источников, и в отличие от нейтрино легче детектируется. Гамма-излучение с энергией выше 100 ТэВ было зарегистрировано от более чем 150 источников, свыше 10 ТэВ – только порядка десятков источников, выше же 100 ТэВ источников на сегодняшний день не обнаружено.

Большинство информации об источниках гамма-излучения высоких энергий было получено с помощью черенковских атмосферных фото-телескопов (IACT – Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes): систем VERITAS, HEGRA, MAGIC, HESS [Rowell, 2005]. Метод анализа изображения широкого атмосферного ливня (ШАЛ), получаемых такими телескопами, позволяет с высокой эффективностью определять причину возникновения ШАЛ – гамма-квант или адрон. Эффективная площадь одного IACT составляет $5 \cdot 10^4 \text{ м}^2$, а поскольку поток гамма-излучения падает с возрастанием энергии, для регистрации необходимого количества событий в разумные сроки требует создания сети телескопов на площади минимум в несколько квадратных километров, что делает такую систему чрезвычайно дорогостоящей. Использование сцинтилляционных детекторов частиц для различения типов ШАЛ на большой площади также имеет высокую стоимость. Менее затратным решением является попытка объединить работу IACT с сетью более дешевых широкоугольных станций Tunka-HiSCORE [<http://www.iexp.uni-hamburg.de/groups/astroparticle/score/en/>].

Система Tunka-HiSCORE (Hundred Square km Cosmic ORigin Explorer) использует сэмпинговый метод, то есть разницы амплитуды сигнала и времени регистрации разными детекторами и позволяет определить направление прихода ШАЛ, положение его оси, энергию первичной частицы и высоту максимума. Одной из важных задач является обучение системы Tunka-HiSCORE самостоятельно определять тип ШАЛ – адронный (вызванный космическими лучами)

или электромагнитный (вызванный гамма-квантом), – что еще не было достигнуто широкоугольным инструментом. Для начала планируется совместная работа инструментов IACT и HiSCORE, при которой IACT помечает кандидаты в гамма-события, а HiSCORE учится находить особенности распределения света и временных задержек у таких событий.

В настоящее время на астрофизическом полигоне ИГУ в Тункинской долине имеются 28 станций Tunka-HiSCORE и продолжается установка новых на площади примерно в 0.3 км^2 , готовится установка фото-телескопа (IACT). Имеется необходимость разработки алгоритмов взаимодействия двух инструментов, в первую очередь на уровне компьютерной модели. Проводится параллельное моделирование установок Tunka-HiSCORE и IACT для дальнейшего объединения двух систем.

Моделирование системы HiSCORE состоит из нескольких этапов. Прежде всего задаются параметры отдельной станции, состоящей из 4-х фотоэлектронных умножителей (ФЭУ), оснащенных светопроводящими конусами. Геометрия конусов определяет площадь ($A=4 \cdot 0.125 \text{ м}^2$) и угловые характеристики ($\Omega=4 \cdot 0.842 \text{ ср}$) светосбора. В качестве параметров ФЭУ задаются квантовая эффективность фотокатода (Q), эффективность собирания электронов на первый диод (D) и время накопления заряда (T). Так как электроника искажает сигнал, задана функция преобразования импульса.

Затем задается модель свечения ночного неба, которая определяет уровень фонового шума в станции. Для этого используются перечисленные выше параметры и среднее значение свечения $F=3.4 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$:

$$\langle N_{\text{pe}} \rangle = F \Omega A Q D T$$

Кроме того, учитываются отражающая способность светопроводящего конуса и пропускающая защитного слоя плексигласа, применяемого на реальных детекторах.

Фоновое свечение ночного неба формирует шум, имеющий гауссово распределение с матожиданием $\langle N_{\text{pe}} \rangle$. Задавая порог срабатывания станции в единицах $\sigma = \sqrt{\langle N_{\text{pe}} \rangle}$, можно определить темп счета как

отдельной станции, так и всей установки в целом. Как правило, порог должен превышать уровень $\langle N_{pe} \rangle$ на 5σ . Проводится исследование зависимости темпа счета отдельных станций и количества станций, давших триггер, от энергии первичной частицы. Для этого выбирается площадка, содержащая в себе установку, и границы устанавливаются на расстоянии 600 м от границ установки, с учетом геометрии распределения черенковского излучения ШАЛ. На заданной площадке производится моделирование ШАЛ, вызванных гамма-квантами и адронами в диапазоне энергий от 1 до 1000 ТэВ. Большая площадь покрытия при использовании множества станций не только позволяет фиксировать большее число событий, но и задать дополнительное условие триггера – совпадение срабатывания станций разной степени кратности.

Однако даже при удовлетворительном уровне фильтрации истинных срабатываний от ложных остается задача анализа распределения черенковского света от адронных и электромагнитных ШАЛ. Проводится анализ пространственного и временного распределений черенковских фотонов в ШАЛ для определения критериев различения типов ШАЛ системой Tunka-HiSCORE. В дальнейшем как на уровне модели, так и в реальных условиях задача помечать гамма-события будет лежать на фото-телескопе (IACT). Конечная цель – самостоятельная работа Tunka-HiSCORE. Успех такого метода позволит проводить эффективную гамма-адронную сепарацию широкоугольным инструментом и значительно удешевит поиск и исследование ПэВатронов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Иркутского государственного университета, индивидуальный исследовательский грант № 091-14-222, и гранта Правительства Российской Федерации (договор 14.В25.31.0010), РФФИ (гранты 14-02-00372, 13-02-002141 и 15-02-10005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Rowell G. Ground-Based Gamma-Ray Astronomy at Energies Above 10 TeV: Searching for Galactic PeV Cosmic-Ray Accelerators // arXiv:astro-ph/0512523v1 21 Dec 2005.

HiSCORE – Hundred Square km Cosmic ORigin Explorer [Электронный ресурс] // [сайт]. [2008]. URL: <http://www.iexp.uni-hamburg.de/groups/astroparticle/score/en/> (дата обращения 31.05.2015).

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия