

Метод определения глубины максимума ШАЛ по длительности импульса по данным черенковской установки TAIGA-HiSCORE

Friday 4 July 2025 12:40 (20 minutes)

Первичные космические частицы представляют собой ядра различных элементов, которые имеют отличающийся пробег взаимодействия в атмосфере. После первичного взаимодействия с атмосферой и передачи большой доли энергии начинается широкий атмосферный ливень (ШАЛ) в виде каскада вторичных частиц. При этом каскадные кривые, описывающие плотность электронов в зависимости от атмосферной глубины, в районе максимума по форме не отличаются для разных типов первичных частиц. Поэтому глубина максимума ШАЛ, или X_{\max} , является параметром, позволяющим оценить массовый состав первичных космических лучей.

В данной работе представлен метод определения X_{\max} , основанный на анализе длительности импульсов черенковского излучения, регистрируемых широкоугольной черенковской установкой TAIGA-HiSCORE, входящей в состав гамма-обсерватории TAIGA [1]. Установка состоит из станций с четырьмя фотоумножителями, с площадью светосбора 0.5 м^2 , расположенных с шагом $\sim 106 \text{ м}$. Представленный метод основан на измерении длительности импульсов на расстоянии 200–400 м от оси ливня и дополняет метод, использующий пространственное распределение фотонов и крутизну между плотностями фотонов на расстояниях 80 и 200 м ($P = Q80/Q200$) [2].

Для установления связи между длительностью импульсов и X_{\max} проведено Монте-Карло моделирование ШАЛ в CORSIKA [3] с моделью адронных взаимодействий QGSJet-II-04 [4] без статистического прореживания (опция thinning). Симулированные импульсы сворачиваются с аппаратурной функцией станции, полученной через анодные каналы фотоумножителей, чтобы отразить характеристики импульсов в эксперименте. Результаты моделирования показывают, что длительность импульса увеличивается с расстоянием от оси ливня, и подтверждают корреляцию длительности импульса с расстоянием до глубины максимума. Оптимальным диапазоном для измерений определен интервал 200–300 м (среднее 255 м), где разброс данных минимален. Для первичных частиц с энергией 10–100 ПэВ ошибка восстановления X_{\max} составляет 12 г/см^2 .

Экспериментальная проверка метода через определение X_{\max} и логарифма массового числа $\ln A$ подтвердила его способность оценить средний массовый состав космического излучения. Результаты получены за 3 сезона наблюдений (2021–2024) для двух конфигураций установки (вертикальное и наклонное положение), которые показывают согласие с данными экспериментов Pierre Auger (прямое наблюдение глубины максимума) [5] и LHAASO (применение метода с N_{el} и N_{mu}) [6]. В дальнейшем планируется процедура сравнения экспериментального распределения с распределениями по глубине максимума, получаемых для различных первичных составов в моделировании.

1. N. Budnev et al, Nucl. Instrum. Meth. A 1039, 167047 (2022).
2. V. Prosin et al, Phys. Atom. Nucl. 84(9), 1653-1659 (2021).
3. D. Heck et al, FZKA 6019 (1998).
4. S. Ostapchenko, EPJ Web Conf. 52, 02001 (2013).
5. E. W. Mayotte et al, PoS ICRC2023, 365 (2023).
6. Xing-Jian Lv et al, Astrophys. J. 979(2), 225 (2025).

Primary author: ТЕРНОВОЙ, Марк (Иркутский государственный университет)

Co-author: COLLABORATION, TAIGA

Presenter: ТЕРНОВОЙ, Марк (Иркутский государственный университет)

Session Classification: 5. Physics of neutrino and nuclear astrophysics

Track Classification: Section 5. Physics of neutrino and nuclear astrophysics.