

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ УСТАНОВКИ TAIGA-IACST

А.Д. Иванова, Д.П. Журов

Научный исследовательский институт прикладной физики Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия
2013sasha68@gmail.com

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA FROM THE TAIGA-IACST INSTALLATION

A.D. Ivanova, D.P. Zhurov

Applied Physics Institute of the Irkutsk State University, Irkutsk, Russia
2013sasha68@gmail.com

Аннотация. Атмосферные черенковские телескопы (АЧТ) установки TAIGA-IACST являются частью комплекса TAIGA, который создается для решения широкого круга фундаментальных задач в области физики высоких энергий и гамма-астрономии методом регистрации широких атмосферных ливней (ШАЛ). Для получения качественных экспериментальных данных сеансы наблюдений АЧТ должны проводиться в ясные безлунные ночи. В настоящее время в составе установки TAIGA-IACST отсутствуют автоматические системы мониторинга прозрачности атмосферы, что приводит к необходимости создания специальных критериев отбора событий при анализе данных. В работе представлена методика отбора событий для установки TAIGA-IACST на основе параметра предельной звездной величины и приведены результаты анализа экспериментальных данных с его использованием.

Ключевые слова: TAIGA-IACST, гамма-астрономия, параметры Хилласа, предельная звездная величина.

Abstract. Imaging atmospheric Cherenkov telescopes (IACSTs) of the TAIGA-IACST installation are a part of the TAIGA complex, which is being created to solve a wide range of fundamental problems in high-energy physics and gamma-ray astronomy by detecting extensive air showers (EAS). To obtain high-quality experimental data, observation sessions should be carried out on clear moonless nights. At present, the TAIGA-IACST installation does not include automatic atmospheric transparency monitoring systems, so some criteria for automatic data selection are needed to be created. This paper presents the method for selecting events for the TAIGA-IACST installation, based on the limiting magnitude parameter. It also presents the results of the analysis of experimental data carried out with the use of this parameter.

Keywords: TAIGA-IACST, gamma astronomy, Hillas parameters, limiting stellar magnitude.

ВВЕДЕНИЕ

Гамма-астрономия на сегодняшний день является активно развивающейся областью исследования удаленных объектов галактики и метagalктики, представляющих большой интерес для современной астрофизики. Регистрация гамма-квантов высоких и сверхвысоких энергий проводится единственно доступным на сегодняшний день методом, основанным на свойстве первичных частиц генерировать в атмосфере Земли каскад вторичных частиц — так называемый широкий атмосферный ливень (ШАЛ). Все компоненты ливня могут быть зарегистрированы наземными детекторами частиц, в частности, атмосферными черенковскими телескопами.

В настоящее время на территории комплекса TAIGA развернуто три АЧТ установки TAIGA-IACST [Budnev, 2021] (рис. 1), которые состоят из параболических сегментированных зеркал общей площадью $\sim 10 \text{ м}^2$. В фокусе зеркал располагаются регистрирующие камеры, формирующие изображение ШАЛ.

На первом этапе при анализе экспериментальных данных крайне важно производить отбор событий, соответствующих корректной работе АЧТ и прозрачной для черенковского света атмосфере. На сегодняшний день в рамках установки TAIGA-IACST существует несколько критериев отбора таких событий, в том числе основанных на субъективной оценке. Все эти критерии весьма трудоемки в реализации. В связи с этим был предложен новый метод отбора погоды на основе параметра предельной звездной величины и проведен анализ экспериментальных данных с его использованием.



Рис. 1. Первый АЧТ TAIGA-IACST

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ДАННЫХ

Помимо отбора событий стандартная процедура обработки и анализа экспериментальных данных установки TAIGA-IACST включает в себя учет шумов электроники и ФЭУ, погодных условий, случайных срабатываний регистрирующих камер, а также вычисление параметров Хилласа [Weekes, 1983] (рис. 2), характеризующих изображение ШАЛ.

К этим параметрам относятся: *size* — суммарное число фотоэлектронов в событии; *length* — большая полуось эллипса; *width* — малая полуось; *azwidth* — азимутальная ширина; *distance* — расстояние между центром изображения и источником; α_1 (α_2) — угол между главной осью эллипса и направлением на источник гамма-квантов (антиисточник — направ-

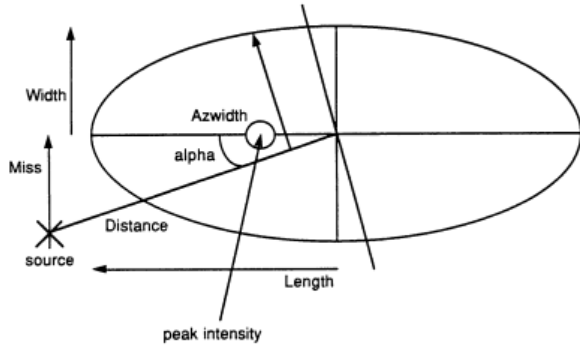


Рис. 2. Изображение параметров Хилласа

ление на фоновый шум); *miss* — ошибка; *con2* — концентрация света в двух ФЭУ с максимальной амплитудой относительно всего *size*.

МЕТОДИКА ОТБОРА СОБЫТИЙ

В качестве объективного критерия отбора погоды была выбрана предельная звездная величина L . Для снимка с помощью CCD в качестве значения L берется такая звездная величина m , что выполняется условие (1):

$$N_{\text{ccd}}(m) / N_{\text{catalog}}(m) = 0.4, \quad (1)$$

где $N_{\text{ccd}}(m)$ — количество звезд, обнаруженных на заданной области неба на снимке CCD и соответствующих каталогу со звездной величиной меньше m ; $N_{\text{catalog}}(m)$ — количество звезд в каталоге со звездной величиной меньше m , попадающих в ту же область неба.

Для анализа экспериментальных данных в качестве источника гамма-квантов был выбран пульсар в Крабовидной туманности и рассмотрен промежуток времени с октября 2019 по февраль 2020 г. (~170 ч наблюдений). Для учета влияния шумов электроники, ФЭУ и кабельных линий связи, а также случайных срабатываний камеры, был введен дополнительный критерий CR (count rate, темп счета) на количество регистрируемых событий в единицу времени, нормированный на зенитный угол θ прихода оси ШАЛ. Темп счета вычисляется каждые 2 мин при проведении сеансов наблюдений. На рис. 3 представлены распределения по параметрам L и CR и определены их пороговые значения, являющиеся критериями отбора событий. Изначально предполагается, что искомые величины должны иметь нормальное распределение при одинаково хорошей погоде, а измерения проводятся в основном при ясном небе. Поэтому в каждой из приведенных гистограмм были выбраны интервалы, аппроксимированные функцией Гаусса (ее параметры выделены красным цветом): $10 < CR < 17$; $9 < L < 9.5$.

После анализа рис. 3 были выбраны условия на отбор событий, которые заключаются в нахождении значений параметров L и $CR/\cos(\theta)$ в пределах 2δ относительно среднего значения (mean) фитирующих функций: $10.9 < CR < 16.7$; $9 < L < 9.5$. События, находящиеся за указанными пределами, соответствуют некорректной работе АЧТ или низкой прозрачности атмосферы.

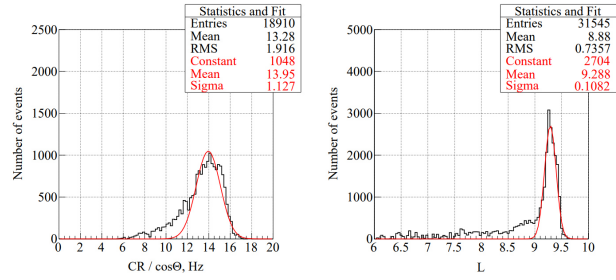
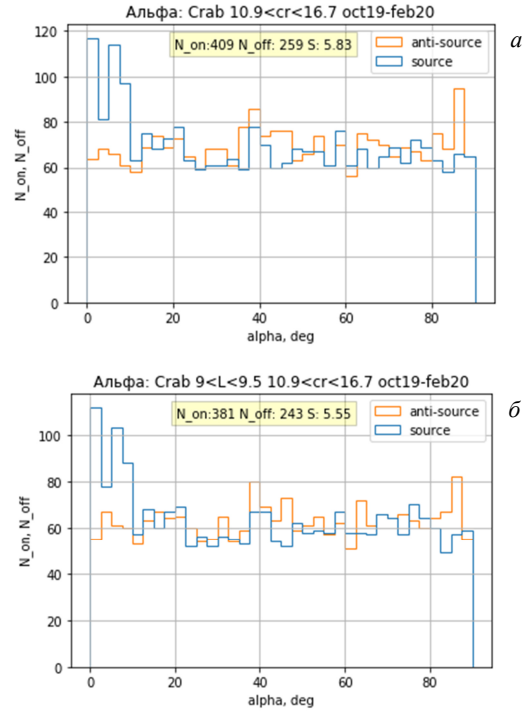


Рис. 3. Распределения нормированного темпа счета (слева) и предельной звездной величины (справа)


 Рис. 4. Распределение по параметру угла α для событий, отобранных по отчетам дежурных о погоде (а); с применением порогов на L (б)

АНАЛИЗ ДАННЫХ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределение по параметру угла α является наиболее распространенным и простейшим способом различения для гамма-адронного разделения. На рис. 4, а, б показаны распределения по α событий N_{on} (источник) и N_{off} (антиисточник) с шагом 2.5° , отобранных по оптимальным критериям: $size > 125$ phe (фотоэлектрон), $distance = 0.36^\circ - 1.44^\circ$, $0.024^\circ < width < 0.068^\circ \times \lg(size - 0.047^\circ)$, $length < 0.31^\circ$, $con2 > 0.54$, $\alpha < 10^\circ$ [Sveshnikova, 2021]. Было обнаружено, что для данных, отобранных с хорошей погодой по отчетам дежурных ($N_{\text{on}} = 409$ — направление на источник, $N_{\text{off}} = 259$ — направление на антиисточник), значимостью, рассчитанная по (17) из статьи [Li, Ma, 1983], составляет 5.83 δ . Для данных, отобранных с использованием порогов на L , результаты получились следующими: $N_{\text{on}} = 381$, $N_{\text{off}} = 243$, значимость 5.55 δ . Видно, что разница в конечном результате оказалась незначительной и составила ~5 %. Это означает, что обработка с помощью применения порогов может использоваться при анализе данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный параметр предельной звездной величины является объективным критерием отбора экспериментальных данных на первом этапе их анализа. Проведено исследование с выбором порогов для конкретного временного интервала, а также получены результаты по их применению. Полученные распределения показывают, что найденные критерии отбора позволяют обнаружить сигнал и требуют дальнейшего рассмотрения на других временных интервалах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Budnev N., et al. TAIGA — An innovative hybrid array for high energy gamma astronomy, cosmic ray physics and astroparticle physics. *Physics of Atomic Nuclei*. 2021. Vol. 84, no. 3. P. 362–367. DOI: [10.1134/S1063778821030078](https://doi.org/10.1134/S1063778821030078).

Li T-P., Ma Y-Q. Analysis methods for results in gamma-ray astronomy. *Astrophys. J.* 1983. Vol. 272. P. 317–324.

Sveshnikova L.G., et al. Detecting gamma rays with energies greater than 3–4 TeV from the Crab Nebula and Blazar Markarian-421 by Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes in the TAIGA Experiment. *Bull. Russian Academy of Sci.: Phys.* 2021. Vol. 85, no. 4. P. 398–401.

Weekes T.C., et al. Observation of TeV gamma-rays from the Crab Nebula using the atmospheric Cherenkov imaging technique. *Astrophys. J.* 1989. Vol. 342. P. 379–395.