

ЗАРЯДОВАЯ КАЛИБРОВКА ОТДЕЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ БАЙКАЛЬСКОГО НЕЙТРИННОГО ТЕЛЕСКОПА

М.Г. Крестьянских, И.А. Перевалова, А.А. Куликов, А.С. Белякова, А.А. Семенюк, И.В. Черноусов

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия
quatamax@gmail.com

CHARGE CALIBRATION OF PARTICULAR OPTICAL MODULES OF THE BAIKAL NEUTRINO TELESCOPE

M.G. Krestyanskikh, I.A. Perevalova, A.A. Kulikov, A.S. Belyakova, A.A. Semenuk, I.V. Chernousov

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia
quatamax@gmail.com

Аннотация. Байкальский нейтринный телескоп является глубоководной установкой, используемой для обнаружения астрофизических нейтрино сверхвысоких энергий вплоть до 10^{18} эВ. Нейтрино крайне слабо взаимодействуют с веществом, поэтому процесс их регистрации достаточно сложен. Пролетая сквозь Землю, нейтрино может вступать в слабое взаимодействие со средой с образованием вторичной частицы, например, мюона, который сохраняет направление первоначального нейтрино, а также известную часть его энергии. Порожденный таким образом мюон, двигаясь в воде, обладает скоростью, превышающей фазовую скорость света, и поэтому производит черенковское излучение. Это излучение детектируется фотоэлектронными умножителями (ФЭУ) Байкальского нейтринного телескопа. Аналоговый сигнал записывается установкой в некотором аппаратном виде, так называемых кодах аналого-цифрового преобразователя. Для того чтобы перевести аппаратную характеристику ФЭУ в физически значимый заряд фотоэлектрона, необходимо проводить калибровку. В данной работе описана процедура зарядовой калибровки отдельных оптических модулей Байкальского нейтринного телескопа.

Ключевые слова: нейтрино, Байкальский нейтринный телескоп, обработка данных, зарядовая калибровка.

Abstract. The Baikal Neutrino Telescope is a deep underwater installation used for detection of high-energy astrophysical neutrinos, with energies of up to 10^{18} eV. Neutrinos interact with matter extremely weakly, so the process of its registration is quite complicated. Flying through the Earth, a neutrino can interact weakly with matter, thus forming the secondary particle (for example, muon) that keeps direction of the first neutrino and the known part of its energy. Speed of the appearing muon, which moves in water, exceeds the phase speed of light and, therefore, produces Cherenkov radiation. This radiation is detected with photomultipliers of the Baikal Neutrino Telescope. Analog signal is recorded by the installation as an apparatus code, known as analog-to-digital converter codes. In order to convert apparatus characteristics of photomultiplier into a physically meaningful charge of photoelectron, it is necessary to calibrate it. The paper describes a charge calibration procedure of particular optical modules of the Baikal Neutrino Telescope.

Keywords: neutrino, the Baikal Neutrino Telescope, data analysis, charge calibration.

ВВЕДЕНИЕ

Байкальский нейтринный телескоп расположен в оз. Байкал на глубине около 1.5 км и представляет собой сложную систему кластеров, каждый из которых состоит из восьми гирлянд — тросов, которые крепятся ко дну якорем. Каждая гирлянда делится на три секции, на каждой расположено 12 так называемых оптических модулей (ОМ, каналов), являющихся функциональными единицами установки. Главной составляющей частью ОМ является ФЭУ. Несмотря на большую глубину, в воде все же присутствует некоторое количество фотонов от люминесценции воды, космических частиц, а также черенковское излучение от вторичных мюонов, образованных в результате взаимодействия нейтрино со средой. Отдельные оптические модули регистрируют аналоговый сигнал, который затем отправляется в блок сбора данных для проверки на триггерное условие, при соблюдении которого сигнал записывается и поступает по кабелю на берег. Первичная обработка сигнала осуществляется 12-канальным АЦП с частотой дискретизации 200 МГц. ОМ регистрирует все заряды, превышающие порог 0.5 фотоэлектрона. Выбирая ОМ без триггерных событий и анализируя собранные данные, определяется положение для одноэлектронного пика. Далее проводится анализ распределения для получения среднего

заряда одного фотоэлектрона в единицах АЦП. Данная характеристика позволяет определять количество фотоэлектронов, сформировавших импульсы в ОМ.

ПОСТРОЕНИЕ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА

Данные поступают со скоростью примерно 1 Гбит/с и представляют собой набор импульсов. Фотон при попадании в ФЭУ выбивает электрон с фотокатода, после чего происходит каскад, вызывающий повышение тока, что приводит к появлению сигнала. Каждый импульс содержит несколько значений амплитуд тока в кодах АЦП в зависимости от времени в кодах АЦП. Единица времени в кодах АЦП соответствует примерно 5 мкс. Для нахождения коэффициента зарядовой калибровки были обработаны данные, записанные оптическими модулями 6-го кластера. Затем были построены формы импульса каждого канала, т. е. для каждого ОМ. Пример формы импульса показан на рис. 1.

ЗАРЯДОВАЯ КАЛИБРОВКА ОТДЕЛЬНОГО КАНАЛА

Для получения значений заряда на данном канале необходимо проинтегрировать формы импульсов. По полученным значениям заряда строится гистограмма. Затем данные аппроксимируются функцией

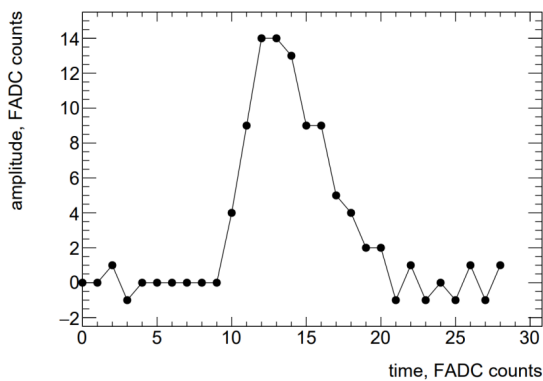


Рис. 1. Форма импульса

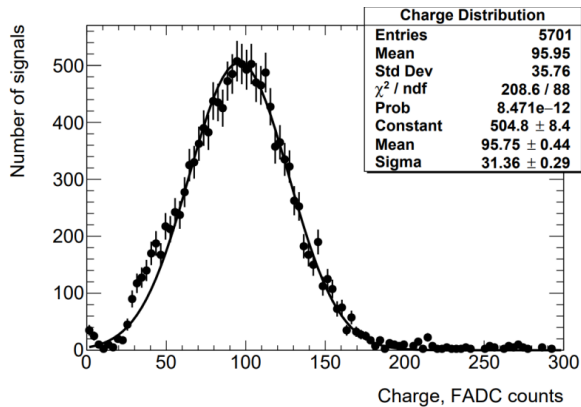


Рис. 2. Зарядовое распределение 9-го канала нижней секции 2-го стринга 6-го кластера за 27 января 2021 г.

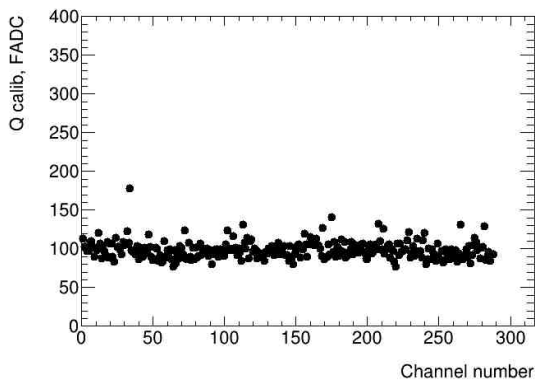


Рис. 3. Зарядовая калибровка для всех каналов шестого кластера

Гаусса. Гистограмма показана на рис. 2, где по горизонтальной оси отложено количество событий, по вертикальной — заряд в кодах АЦП. Главный максимум соответствует заряду одного фотоэлектрона в кодах АЦП. Данная характеристика чувствительна к состоянию аппаратуры и к окружающей среде, поэтому принимает различные значения для разных каналов в разное время, изменяющиеся в небольшом диапазоне. Данную характеристику вычисляют для всех каналов ежедневно, а также следят за тем, чтобы значения не выходили за пределы допустимого диапазона. Если величина заряда одного фотоэлектрона сильно отклоняется от среднего, канал подвергается дальнейшему анализу.

Мы получили, что одному фотоэлектрону соответствует заряд ~100 кодов АЦП. Это типичное зна-

чение для всех JV. Анализ других ОМ показывает, что эти значения варьируют в диапазоне от 80 до 130 кодов АЦП (рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы была проведена зарядовая калибровка ОМ 6-го кластера Байкальского нейтринного телескопа. Получено, что заряд одного фотоэлектрона находится в диапазоне 80–130 кодов АЦП. Проверка показала, что полученное значение стабильно для всех ОМ и в разное время сохраняется в указанном диапазоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аврорин А.В. и др. Baikal GVD — Нейтринный телескоп следующего поколения на оз. Байкал. *Изв. РАН. Сер. Физическая*. 2019. Т. 83, № 8. С. 1016–1018.
- Шайбонов Б.А. Выделение событий от каскадов, инициированных мюонами и нейтрино, в эксперименте на Байкальском глубоководном нейтринном телескопе. *Автореферат дис.* М.: Институт ядерных иссл., 2021. С. 62–64.
- Шелепов М.Д. Выделение событий от ливней высоких энергий и восстановление параметров ливней в экспериментах на первой очереди нейтринного телескопа Baikal-GVD: *Автореферат дис.* М.: Институт ядерных иссл., 2021. С. 28–33.
- Allakhverdyan V.A. et al. The Baikal-GVD Neutrino Telescope: search for high-energy cascades. *37th International Cosmic Ray Conference: Abstracts*. Berlin, 2021.
- Avrorin A.V., et al. Data quality monitoring system of the Baikal-GVD experiment. *36th International Cosmic Ray Conference: Abstracts*. Madison, 2019.