# Система мониторирования ECAL/BM@N с оптоволоконным съемом света для работы в магнитном поле

В.В. Устинов<sup>1,3</sup>,\* С.В. Афанасьев<sup>2,3†</sup> <sup>1</sup>Государственный университет «Дубна», факультет естественных и инженерных наук, кафедра «Физико-технические системы» <sup>2</sup>Государственный университет «Дубна», кафедра общей физики. Россия, 141982, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, д. 19 <sup>3</sup>Объединенный институт ядерных исследований. Россия, 141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6 (Статья поступила 09.05.2018; Подписана в печать 18.05.2018)

Представлена система мониторирования электромагнитного калориметра (ECAL) физической установки BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) [1]. Система создана на основе пластического сцинтиллятора с оптоволоконным съемом света. Регистрация света осуществляется кремниевыми фотоприемниками MPPC (Multi-Pixel Photon Counter), не чувствительными к действию магнитного поля. Получена эффективность регистрации минимальных ионизирующих частиц близкая к 100%. Работа выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, Объединенный институт ядерных исследований.

РАСS: 29.40.Мс УДК: 539.1.074.3 Ключевые слова: калориметр, сцинтиллятор, ВМ@N, ОИЯИ, спектросмещающие волокна.

#### введение

Для регистрации  $\gamma$ -квантов в эксперименте BM@N создается двухплечевой электромагнитный калориметр. Каждое плечо калориметра состоит из 56 модулей (сборка 8 × 7 модулей) и размещается внутри дипольного магнита SP-41 физической установки BM@N (рис. 1).

Модуль калориметра типа «Шашлык» состоит из 220 чередующихся слоев свинцового поглотителя (толщина 0.3 мм) и сцинтиллятора (толщина 1.5 мм), пронизанные в поперечном направлении спектросмещающими волокнами [2]. Волокна просматриваются кремниевыми фотоприемниками МРРС. Радиационная длина для такой сборки составляет 35 мм. На данном этапе смонтировано одно плечо и система мониторирования к нему. Поскольку поле магнита составляет несколько Тл, то в качестве фотоприемников в системе мониторирования были использованы кремниевые фотоприемники.

Система мониторинга необходима для предварительной калибровки модулей ECAL. Калибровка проводится по отклику каждой ячейки калориметра на проходящую через нее частицу. Чтобы исследовать всю калориметрическую сборку необходим стабильный высокоэнергетичный источник излучения. В качестве такого источника используются космические мюоны (интенсивность ~ 120 частиц/с на м<sup>2</sup>), которые будут иметь одинаковое энерговыделение в ячейках калориметра.

## 1. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

Наиболее важно контролировать соответствие выходного сигнала в объёме максимального энерговыделения электромагнитного ливня, развивающегося в модуле калориметра на расстоянии  $\sim 5-6$  радиационных длин, и занимающего порядка 1–2 радиационных длин. Для всей сборки необходимо выделить исследуемую область с помощью мониторных счетчиков (рис. 2).

Исходя из этих условий, размер мониторных счетчиков должен составлять  $1000 \times 80 \text{ мм}^2$ . Эти счетчики должны обладать высокой эффективностью регистрации света. Сцинтилляционные счетчики были изготовлены из сцинтилляционных пластин  $1000 \times 80 \times 5 \text{ мм}^3$ . Съем света осуществляется спектросмещающими шифтерами типа Y-11 диаметром 1.2 мм [3], которые приклеены к боковой грани сцинтиллятора оптическим клеем (ВС-600 optical cement). Концы шифтеров собраны в пучок, зафиксированы в обойме, отполированы и сопрягаются с рабочей частью фотоприемника (рис. 3). Площадь шифтеров составляет  $2.4 \times 2.4 \text{ мм}^2$ .

В качестве фотоприемника используются кремние вые фотоумножители Hamamatsu MPPC (Multi-Pixel Photon Counter), модель S12572-015P [4] с рабочей поверхностью 3×3 мм<sup>2</sup>, что полностью перекрывает шифтеры. Счетчик помещен в пластиковый корпус и полностью светоизолирован. Сигнал с фотоумножителя подается на усилитель, размещенный в корпусе счетчика (рис. 7).

<sup>\*</sup>E-mail: ustinov@jinr.ru

<sup>&</sup>lt;sup>†</sup>E-mail: afanasev@lhe.jinr.ru



Рис. 1: Блок-схема физической установки ВМ@N, ОИЯИ



Рис. 2: Вид сбоку сборки ECAL/BM@N с расположением мониторных счетчиков

### 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА

#### А. Испытание элементов системы

Было собрано и испытано четыре счетчика. Получена зависимость амплитуды выходного сигнала от места регистрации частицы, проходящей через счетчик. Для мониторных счетчиков, предназначенных для правого плеча калориметра, эта зависимость представлена на рис. 4. Проведенные исследования показали, что амплитуда сигнала практически не зависит от места генерации света, что обеспечит высокую эффективность регистрации проходящих мюонов.

#### В. Ввод системы в эксплуатацию

Счетчики были смонтированы и введены в эксплуатацию на электромагнитном калориметре ECAL/BM@N.



Рис. 3: Блок-схема оптоволоконного съема света со счетчика



Рис. 4: Зависимость амплитуды выходного сигнала от места регистрации частицы



Рис. 5: Блок-схема размещения системы мониторирования на калориметре

На рис. 5 показано взаимное расположение калориметра и системы мониторирования. Сигналы, снимаемые со счетчиков регистрирующих проходящую частицу, подаются через формирователь ( $\Phi$ ) на схему совпадений (CC). Четырехкратное совпадение сигналов с двух счетчиков служит запуском для электроники, обслуживающей калориметр. Иные события не учитываются. На рис. 6 и 7 показан общий вид счетчиков и расположение системы мониторирования на калориметре ECAL. На рис. 8 представлены сигналы с ячеек ECAL при прохождении мюона во время тестирования калориметра. Режим работы МРРС ячеек ECAL выбирался по наилучшему отношению сигнал/шум. Чтобы привести сигналы к одному уровню нужно получить калибровочные коэффициенты. Эта процедура была выполнена с использованием созданной мониторной системы. Полученные спектры для девяти ячеек одного модуля представлены на рис. 9. Хорошо видно, что ячейки калориметра имеют разные средние значения амплитуд регистрируемых сигналов при одинаковом энерговыделении в этих ячейках.

На основе полученных данных были составлены индивидуальные калибровочные коэффициенты пересчета амплитуды сигнала в энерговыделение для каждой ячейки калориметра.



Рис. 6: Расположение системы мониторирования на калориметре ECAL



Рис. 7: Общий вид счетчиков



Рис. 8: Пример сигналов с ячеек калориметра при прохождении мюона

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1. Была собрана и протестирована система мониторирования электромагнитного калориметра ECAL/BM@N на основе пластического сцинтиллятора с оптоволоконным съемом света.
- 2. Получена эффективность регистрации минимальных ионизирующих частиц близкая к 100%.
- 3. Система была установлена на электромагнитный калориметр ECAL/BM@N и введена в эксплуатацию.
- 4. С помощью созданной системы мониторирования были получены индивидуальные калибровочные коэффициенты.

УЗФФ 2018



Рис. 9: Амплитуды сигналов при поперечном прохождении мюона для одного модуля, выраженные в каналах АЦП

- Информация о детекторе BM@N: [Электронный ресурс] NICA - Nuclotron-based Ion Collider fAcility. М., 2018. URL: http: nica.jinr.ru/ru/projects/bman.php. (Дата обращения 06.05.2018).
- [2] MPD NICA Design Technical Report of the Electromagnetic calorimeter (ECal): [Электронный pecypc] MPD & BM@N software 2018. URL: team. http: mpd.jinr.ru/wpcontent/uploads/2018/01/TDR\_ECAL\_v2.1.pdf. (Дата обращения 06.05.2018).
- [3] Информация о спектросмещающих волокнах: [Электронный ресурс] KURARAY CO., LTD. M., URL: http: kuraraypsf.jp/psf/ws.html. (Дата обращения 06.05.2018).
- [4] Информация о кремниевом фотоумножителе S12572-

015P: [Электронный ресурс] Hamamatsu Photonics K.K.M., URL: http://www.hamamatsu.com/jp/en/S12572-015P.html. (Дата обращения 06.05.2018).

- [5] Акимов Ю.К. Фотонные методы регистрации частиц. ЭЧАЯ. М.: Изд-во ОИЯИ, 2014.
- [6] Ампилогов Н.В., Амельчаков М.Б., Бритвич Г.И., Бруданин В.Б., Немченок И.Б., Петрухин А.А., Саламатин А.В., Солдатов А.П., Черниченко С.К., Шеин И.В. и др. Сцинтилляционный детектор с оптоволоконным съёмом информации 30-я ВККЛ, Санкт-Петербург. М., 2008.
- [7] Харжеев Ю. Н. ЭЧАЯ. 2015. 46. С. 1227.

# A system of ECAL/BM@N monitoring with wavelength shifting fibers readout for operation in a magnetic field

V. V. Ustinov<sup>1,3,a</sup>, S. V. Afanasev<sup>2,3,b</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical and Technical Systems, Faculty of Nature and Engineering Sciences, The State University of Dubna. <sup>2</sup>Department of General Physics, The State University of Dubna Dubna 141982, Russia <sup>3</sup>Joint Institute for Nuclear Passageth, Dubna 141980, Pupping

<sup>3</sup>Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 141980, Russia

УЗФФ 2018

1830204-5

## *E-mail:* <sup>*a*</sup>*ustinov*@*jinr.ru,* <sup>*b*</sup>*afanasev*@*lhe.jinr.ru*

The monitoring system of the electromagnetic calorimeter (ECAL) of the BM@N (Baryonic Matter at Nuclotron) spectrometer [1] is presented. The system is based on a plastic scintillator with wavelength shifter Fibers. Detection of light is carried out by silicon photodetectors MPPC (Multi-Pixel Photon Counter), insensitive to the magnetic field. The efficiency of minimal ionizing particles registration is close to 100%. Work has been performed at the Veksler and Baldin Laboratory of Physics High Energies, Joint Institute for Nuclear Research.

PACS: 29.40.Mc. *Keywords*: calorimeter, scintillator, BM@N, JINR, wavelength shifting fibers. *Received 09 May 2018.* 

#### Сведения об авторах

- 1. Устинов Валентин Валерьевич студент 1 курса магистратуры, лаборант; тел.: (496) 216-28-04, e-mail: ustinov@jinr.ru.
- 2. Афанасьев Сергей Владимирович канд. физ.-мат. наук, нач. сектора, доцент; тел.: (496) 216-28-04, е-mail: afanasev@lhe.jinr.ru.