

СТАТУС ДЕТЕКТОРА СВЕТИМОСТИ ДЛЯ NICA/MPD

Г. Д. Мильнов^{1,2,*}, *М. Г. Буряков*¹, *С. Г. Бузин*¹,
*В. М. Головатюк*¹, *А. Г. Литвиненко*^{1,2},
*Е. И. Литвиненко*¹, *А. И. Малахов*^{1,2}

¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

² Государственный университет «Дубна», Дубна, Россия

Обсуждается статус детектора, предназначенного для измерения абсолютной светимости в точке взаимодействий эксперимента MPD на коллайдере NICA (ОИЯИ) [1]. Представлены основные задачи, которые должен выполнять детектор, и требования к нему. Обсуждаются результаты испытания прототипов детектора с использованием космических мюонов и тестовых пучков, а также планы дальнейшей работы.

The paper discusses the status of a detector designed to measure the absolute luminosity at the interaction point of the MPD experiment at the NICA collider (JINR). The main tasks and performance requirements for the future detector are discussed. Results of tests of the detector prototypes using cosmic muons and test beams are presented. Further plans are discussed.

PACS: 29.20.db; 29.40.Mc

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе обсуждается детектор, предназначенный для измерения светимости с использованием косвенного метода, основанного на проведении серии измерений в рамках скана Ван дер Меера [2] с использованием методики, ранее описанной в работе [3].

Светимость (L) коллайдера определяет среднее число взаимодействий в единицу времени (R) для реакций с известным сечением σ :

$$R = L\sigma. \quad (1)$$

Стандартной единицей измерения светимости являются сантиметры и секунды ($\dim L = \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$). Наряду с интервалом достижимых энергий светимость является ключевой характеристикой коллайдера.

Помимо теоретического определения светимости существует и другое определение, используемое экспериментаторами. При экспериментальном

* E-mail: milnov@jinr.ru

определении светимости необходимо учитывать эффективность детектора. Тогда выражение (1) примет вид

$$R = \varepsilon L \sigma. \quad (2)$$

Есть два экспериментальных метода определения светимости: прямой и косвенный. При использовании прямого метода должны быть известны такие параметры, как число событий, регистрируемых детектором в секунду, сечения взаимодействия и эффективность детектора, что не всегда возможно. При использовании косвенного метода светимость определяется в соответствии с алгоритмом из серии измерений (скан Ван дер Меера), основанных на виде формулы светимости, зависящей от параметров банчей (без учета фокусировки и с учетом фокусировки (см. работу [3])).

ЗАДАЧИ ДЕТЕКТОРА СВЕТИМОСТИ

Основными задачами детектора светимости являются следующие.

1. Помощь в измерении поперечных размеров пучков.
2. Помощь в настройке поперечного схождения пучков.
3. Помощь в настройке продольного схождения пучков.
4. Контроль распределения вершин взаимодействия в продольном направлении.
5. Измерение абсолютной светимости.

Помимо задач есть требования, предъявляемые к детектору. Он должен быть простым, компактным, дешевым. Временное разрешение детектора должно быть не хуже 200 пс.

Базовые параметры структуры столкновений тяжелых ядер на коллайдере NICA ($\sqrt{s_{NN}} = 11$ ГэВ):

- длина кольца коллайдера: $L = 503,04$ м;
- количество банчей: $N_b = 22$;
- RMS частиц в банче: $\sigma_z = 0,6$ м;
- время между банчами: $t_{b-b} \cong 76,2$ нс;
- время пересечения банчей: $\Delta\tau_{bb} \leq (6\sigma_z)/(2c\beta) \cong 6$ нс;
- частота вращения банчей в кольце коллайдера: $f_r \cong 0,56 \cdot 10^6$ Гц;
- сечение неупругих столкновений Au + Au: $\sigma_{AuAu} \cong 6,2b$;
- максимальная светимость: $L = 10^{27}$ см⁻² · с⁻¹;
- число неупругих столкновений в секунду: $R = 6200$ с⁻¹ = $L\sigma_{AuAu}$.

ДЕТЕКТОР

Для измерения абсолютной светимости в эксперименте MPD на коллайдере NICA был предложен детектор, основными элементами которого являются сцинтилляционные полосы (стрипы) размерами $100 \times 10 \times 10$ мм, состоящий из двух плеч, симметрично расположенных на расстоянии 3 м от точки взаимодействия (рис. 1).

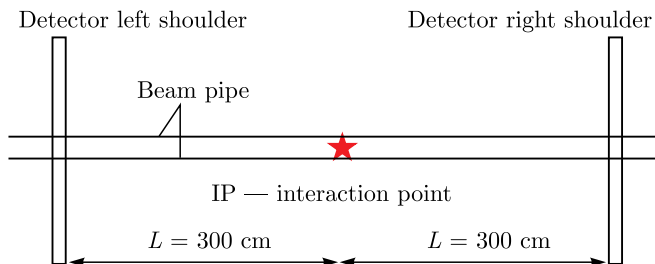


Рис. 1. Расположение двух плеч детектора (DL, DR) вблизи точки взаимодействия (IP). Вид с внешней стороны коллайдера в горизонтальной плоскости перпендикулярно к оси столкновения

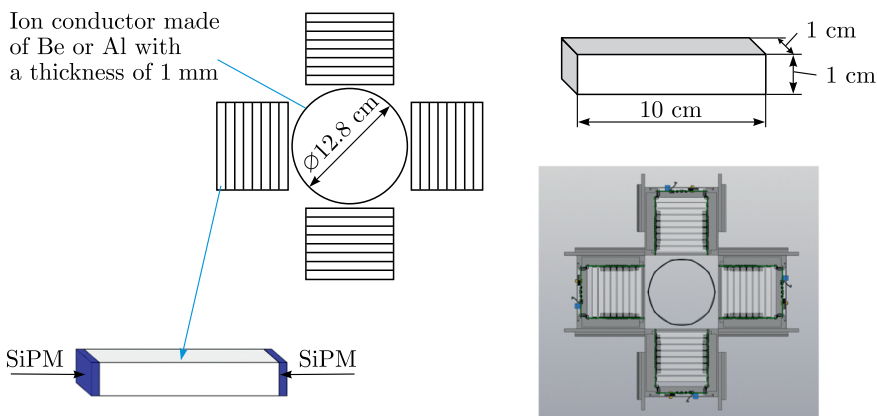


Рис. 2. Фронтальный (со стороны одного из пучков) вид плеча детектора из четырех базовых плоскостей, расположенных вокруг ионопровода (окружность)

Каждое плечо состоит из 4 модулей. Каждый модуль состоит из 8 сцинтилляционных полос (рис.2). Стрипы просматриваются с двух сторон кремниевыми фотоумножителями Hamamatsu S14160-6050HS (SiPM) [4].

Результаты измерений временных характеристик сцинтилляционных полос были изложены в [5]. Блок-схема экспериментального стенда измерений временных характеристик сцинтилляционных полос изображена на рис. 3.

Источником излучения для стенда являлись космические мюоны. Временное разрешение счетчика исследовалось при прохождении через него космического мюона. Для выделения вертикального потока мюонов использовались два триггерных счетчика размерами $10 \times 10 \times 8 \text{ мм}$, которые образуют мюонный телескоп [6].

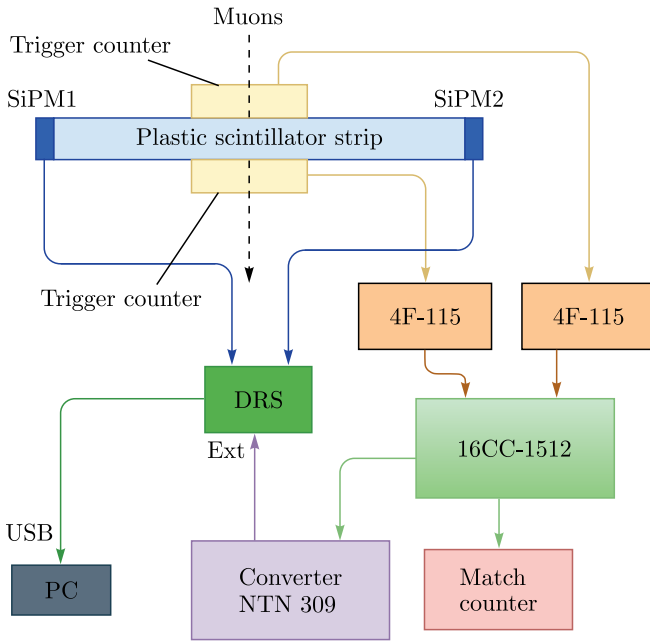


Рис. 3. Блок-схема экспериментального стенда

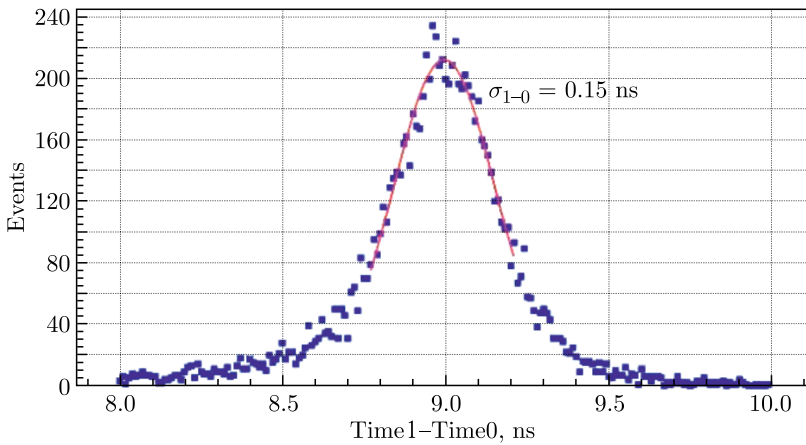


Рис. 4. Спектр для разности времен пролета с двух концов ($Time1 - Time0$) одного из счетчиков. Точки — экспериментальные данные; линия — результат фитирования распределением Гаусса

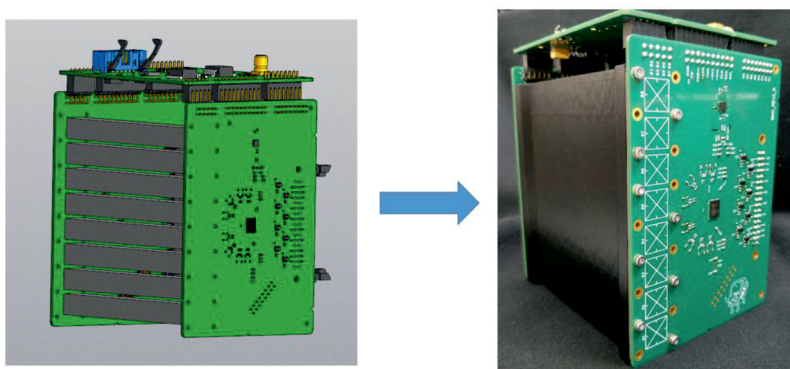


Рис. 5. Модуль детектора светимости: 3D-модель (слева) и собранный модуль (справа)

Временное разрешение для разности времен пролета ($\tau = \text{Time1} - \text{Time0}$), измеренных с двух торцов сцинтилляционной полосы, не хуже 160 пс. Результаты измерений для одного из счетчиков показаны на рис. 4. Аппроксимация результатов измерений распределением Гаусса проведена в пакете ROOT [7].

Далее был собран один модуль детектора (рис. 5). Для измерения его временных параметров модуль облучался электронами с энергией от 1 до 10 ГэВ с использованием тестового пучка в ЦЕРН.

Часть стенда и результаты тестирования модуля, собранного в ЦЕРН, изображены на рис. 6. На рисунке показаны значения временного разрешения, полученные при одинаковых экспериментальных условиях, но при использовании TDC с различным шагом дискретизации.

Модуль детектора светимости был установлен таким образом, чтобы пучок электронов проходил через все ячейки сцинтиллятора. При обработке данных время одной ячейки сцинтиллятора считалось как полусумма времен срабатывания левого и правого SiPM. Временное разрешение ячейки определялось равным дисперсии распределения разницы времен двух ячеек. Так как полученное разрешение было ~ 135 пс, необходимость в TDC с временным разрешением ~ 25 пс отсутствует.

Для наглядности на рис. 6 приведены результаты обработки того же набора данных, перекодированных с битностью, эквивалентной ширине канала TDC, равной 100 пс. Результат получился хуже примерно на 10%, что удовлетворяет требованиям нашего технического задания (лучше 200 пс).

В экспериментальном зале были сложные эксплуатационные условия, температура держалась в районе 30 °С. Из-за недостаточной вентиляции помещения тепловыделение камерной электроники (300 мВт/канал) приводило к повышению температуры SiPM, что ухудшало временные

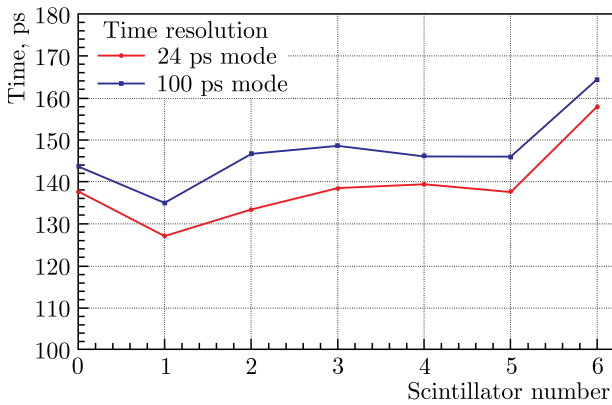
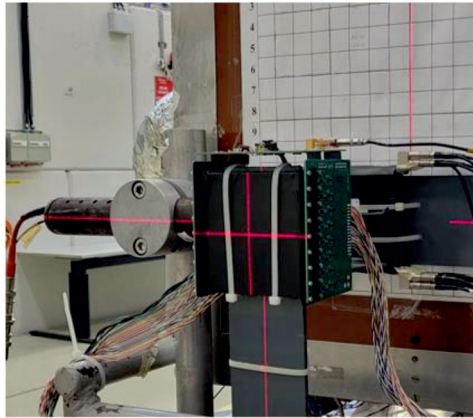


Рис. 6. Тестирование модуля детектора в ЦЕРН

характеристики детектора. Для избежания подобных ситуаций было решено использовать электронику с меньшим тепловыделением на базе NINO ASIC (65 мВт/канал).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение перечислим основные результаты работы:

- 1) проведено тестирование сцинтилляционных счетчиков детектора;
- 2) собран и протестирован один модуль детектора;
- 3) закуплена электроника и элементы конструкции.

Планы на будущее:

- 1) собрать все модули и протестировать их на пучке;
- 2) собрать конструкцию крепления модулей вокруг ионопровода.

Работа частично поддержана Российским научным фондом (проект № 23-22-00160).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ускорительный комплекс NICA. <https://nica.jinr.ru/complex.php>;
Graßströma P., Kozanecki W. // Progress Part. Nucl. Phys. 2015. V. 81. P. 97–148.
2. *Van der Meer S.* CERN-ISR-PO-68-31. Geneva, 1968.
3. *Игамкулов З., Кручеру М., Курепин А. Б., Литвиненко А. Г., Литвиненко Е. И., Переседов В. Ф.* // Письма в ЭЧАЯ. 2019. Т. 16, № 6(225). С. 535–551.
4. Кремниевые фотоумножители Hamamatsu S13360-6025CS. https://www.hamamatsu.com/content/dam/hamamatsu-photonics/sites/documents/99_SALES_LIBRARY/ssd/s14160_s14161_series_kapd1064e.pdf.
5. *Мильнов Г. Д., Литвиненко А. Г., Малахов А. И., Сухов Е. В., Устинов В. В.* // Письма в ЭЧАЯ. 2022. Т. 19, № 4(243). С. 271–280.
6. *Ustinov V. V., Kutinova O. V., Sukhov E. V.* // AIP Conf. Proc. 2021. V. 2377. 030019; <https://doi.org/10.1063/5>.
7. <https://root.cern.ch/>