

## ТЕХНИКА ЯДЕРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

УДК 539.1.074

### ПЕРЕДНИЕ ГОДОСКОПЫ ЗАРЯЖЕННЫХ ФРАГМЕНТОВ ЯДЕР ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ВМ@N

© 2021 г. А. Г. Баранов<sup>a</sup>, В. А. Басков<sup>b</sup>, Д. П. Герасимов<sup>a</sup>, Ф. Ф. Губер<sup>a</sup>,  
В. А. Дронов<sup>b</sup>, А. П. Ивашкин<sup>a</sup>, А. В. Известный<sup>a</sup>, Н. М. Карпушкин, А. И. Львов<sup>b</sup>,  
С. В. Морозов<sup>a</sup>, П. Ю. Наумов<sup>c</sup>, В. В. Полянский<sup>b</sup>, А. И. Решетин<sup>a</sup>, Г. Х. Салахутдинов<sup>c</sup>, \*

<sup>a</sup> Институт ядерных исследований РАН  
Россия, 108840, Москва, Троицк, ул. Физическая, 27

<sup>b</sup> Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН  
Россия, 119991, Москва, Ленинский просп., 53

<sup>c</sup> Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Россия, 115409, Москва, Каширское шоссе, 31

\*e-mail: saip07@mail.ru

Поступила в редакцию 23.04.2021 г.

После доработки 13.05.2021 г.

Принята к публикации 18.05.2021 г.

Разработаны и изготовлены два варианта переднего годоскопа: на основе сцинтилляционных и радиационно-стойких кварцевых пластин. Годоскопы предназначены для регистрации ионов в эксперименте ВМ@N на ускорительном комплексе NICA. На калибровочном пучке вторичных электронов синхротрона «Пахра» ФИАН измерены световые выходы и их неоднородность в зависимости от координаты прохождения частиц через пластины годоскопов.

DOI: 10.31857/S0032816221050190

#### ВВЕДЕНИЕ

ВМ@N (Barionic Matter at Nuclotron) [1, 2] является первым действующим экспериментом с фиксированной мишенью на сооружаемом ускорительном комплексе NICA в ОИЯИ (Дубна), предоставляющим уникальную возможность изучения ядерной материи в условиях экстремальной плотности и температуры в столкновениях релятивистских тяжелых ионов при энергиях до 4.5 АГэВ (А – массовое число). Экспериментальная установка позволяет измерять импульс рожденных заряженных частиц в магнитном спектрометре и идентифицировать их тип с помощью времяпролетных детекторов. Центральность ядро-ядерных столкновений и ориентация плоскости реакции определяются передним адронным калориметром FHCAL [3]. Особенностью FHCAL является наличие сквозного квадратного отверстия размером 15 × 15 см в центре калориметра. Это отверстие необходимо для прохождения пучка тяжелых ионов с интенсивностью до  $2 \cdot 10^6$  ионов/с, предотвращения радиационных повреждений сцинтилляционных пластин центральных модулей калориметра и активации калориметра.

Значительная часть фрагментов-спектаторов сталкивающихся ядер проходит через отверстие в центре калориметра и не детектируется. В резуль-

тате выделенная энергия в калориметре имеет немонокотонную зависимость от центральности ядро-ядерных столкновений, что создает определенные трудности в определении геометрии столкновений. Проблема детектирования фрагментов ядер решается установкой в центре калориметра переднего годоскопа, полностью перекрывающего пучковое отверстие в калориметре. Использование годоскопа позволяет определить центральность столкновений из двумерной корреляции между энергией, выделившейся в калориметре, и суммой зарядов фрагментов, измеренных годоскопом [4]. В зависимости от параметров пучка предполагается использовать годоскопы двух типов. В экспериментах на пучках легких ядер планируется установить годоскоп, собранный из сцинтилляционных пластин, а в экспериментах на пучках тяжелых ядер – годоскоп на основе кварцевых пластин.

#### КОНСТРУКЦИИ ГОДОСКОПОВ

Кварцевый и сцинтилляционный годоскопы имеют одинаковую структуру детекторной части. Каждый годоскоп состоит из шестнадцати кварцевых или сцинтилляционных пластин длиной 160 мм, толщиной 4 мм и шириной 10 мм. Актив-

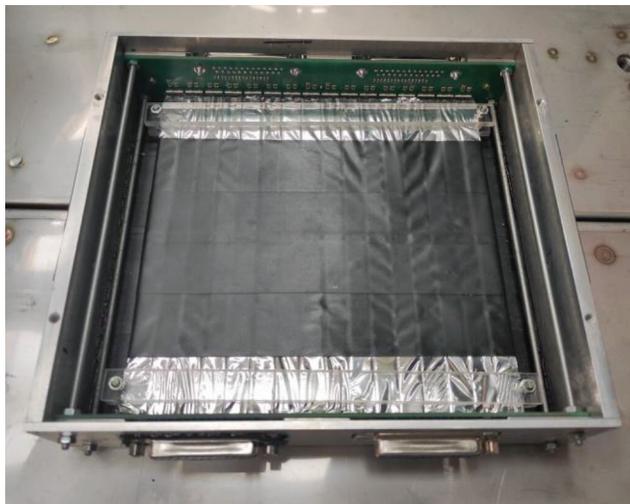


Рис. 1. Вид переднего годоскопа (без верхней крышки).

ная площадь каждого годоскопа составляет  $160 \times 160 \text{ мм}^2$ . Каждая пластина годоскопа обернута отражателем – тонкой пленкой алюминированного майлара. Внутренняя часть годоскопов показана на рис. 1.

В качестве фотодетекторов в обоих годоскопах используются кремниевые фотоумножители – микропиксельные лавинные фотодиоды с высоким коэффициентом усиления производства компании Hamamatsu (Japan). Амплитуды световых сигналов с кварцевой и сцинтилляционной пластин отличаются в несколько раз, поэтому в этих годоскопах используются фотодиоды двух разных типов в разном количестве. Свет с каждой из 16-ти кварцевых пластин считывается с двух противоположных торцов двумя парами фотодиодов MPPC S141160-015P с площадью активной области  $3 \times 3 \text{ мм}^2$ , размером одной ячейки  $15 \times 15 \text{ мкм}$  и квантовой эффективностью около 30%. При выборе фотодетекторов этого типа основное внимание уделялось максимальной эффективности регистрации черенковского излучения.

Свет со сцинтилляционных пластин считывается с двух противоположных торцов одиночными фотодиодами MPPC S141160-010P с площадью активной области  $3 \times 3 \text{ мм}^2$ , размером одной ячейки  $10 \times 10 \text{ мкм}$  и квантовой эффективностью около 18%. В этом случае основное внимание уделяется максимальному динамическому диапазону регистрируемых сигналов, пропорциональному плотности индивидуальных ячеек в фотодиодах. При этом высокие амплитуды сцинтилляционных вспышек не требуют максимальной эффективности регистрации света фотодетекторами.

Сигналы с фотодиодов поступают по коаксиальным кабелям длиной  $\sim 1.5 \text{ м}$  на двухкаскадные усилители, расположенные в отдельном корпусе.

Такое выносное расположение усилителей позволяет разместить их вдали от пучка ионов и избежать радиационных повреждений электронных компонентов. Сигнал после усиления преобразуется в дифференциальный вид с амплитудами, рассчитанными для дальнейшего считывания и оцифровки с помощью амплитудно-цифровых преобразователей. Оцифровка сигналов осуществляется модулями TQDC производства AFI electronics (ОИЯИ, Дубна) [5].

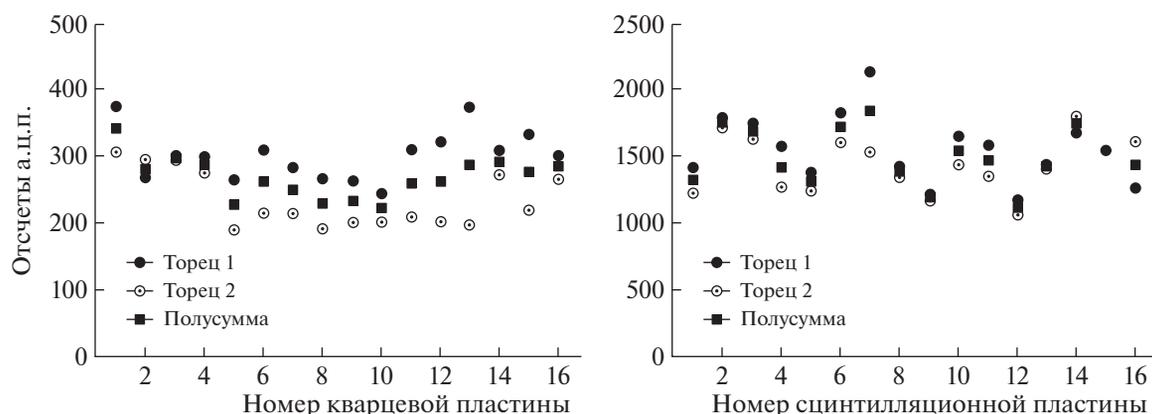
### ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГОДОСКОПОВ

Параметры отдельных элементов (кварцевой и сцинтилляционной пластин) годоскопов были исследованы ранее и представлены в работе [6]. Результаты проведенных измерений образцов сцинтилляционной и кварцевой пластин на пучке электронов показали, что неоднородность светосбора составляет  $\pm 3\%$  и  $\pm 10\%$  соответственно. При этом суммарный световыход с двух торцов кварцевой пластины соответствует сигналу  $\sim 5$  фотоэлектронов, что позволяет надежно регистрировать даже частицы с зарядом  $Z = 1$ . Отметим, что в этих измерениях использовались фотодиоды предыдущего поколения MPPC S12572-015P с меньшей квантовой эффективностью.

В настоящей работе проведены измерения световых выходов и неоднородности светосбора всех детекторных элементов полностью собранных сцинтилляционного и кварцевого годоскопов. Оба годоскопа были исследованы на тестовом пучке электронов с энергией 280 МэВ синхротрона ФИАН “Пахра”. Детекторы были установлены на несущую платформу, перемещаемую в вертикальной и горизонтальной плоскостях, перпендикулярных направлению пучка. Триггер от электронов формировался двумя пучковыми счетчиками с размерами  $10 \times 10 \times 5 \text{ мм}$  каждый. Таким образом, установка позволяла выполнить сканирование элементов годоскопа пучком как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

На первом этапе теста были измерены амплитуды сигналов с каждого торца сцинтилляционной и/или кварцевой пластины, а также получены усредненные значения амплитуд двух сигналов с каждой пластины. В этом случае пучок электронов проходил через центр каждой пластины. Результаты измерений амплитуд сигналов с пластин кварцевого и сцинтилляционного годоскопов представлены на рис. 2.

Согласно рис. 2, амплитуды двух сигналов с противоположных торцов пластин коррелируют для большинства пластин. Это указывает на то, что основным фактором, определяющим эффективность светосбора, является прозрачность и отражение света внутри самой пластины. Наблюда-



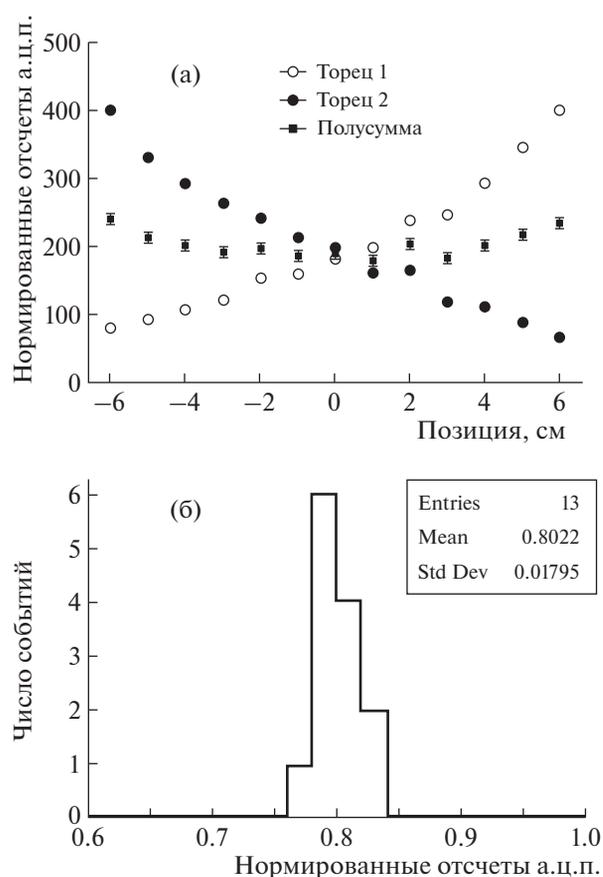
**Рис. 2.** Зависимости амплитуд сигналов с противоположных торцов пластин и среднего значения амплитуд от номера пластины кварцевого (слева) и сцинтиляционного (справа) годоскопов.

емая корреляция также свидетельствует о том, что качество оптического контакта, индивидуальное для каждого фотодетектора, играет вторичную роль.

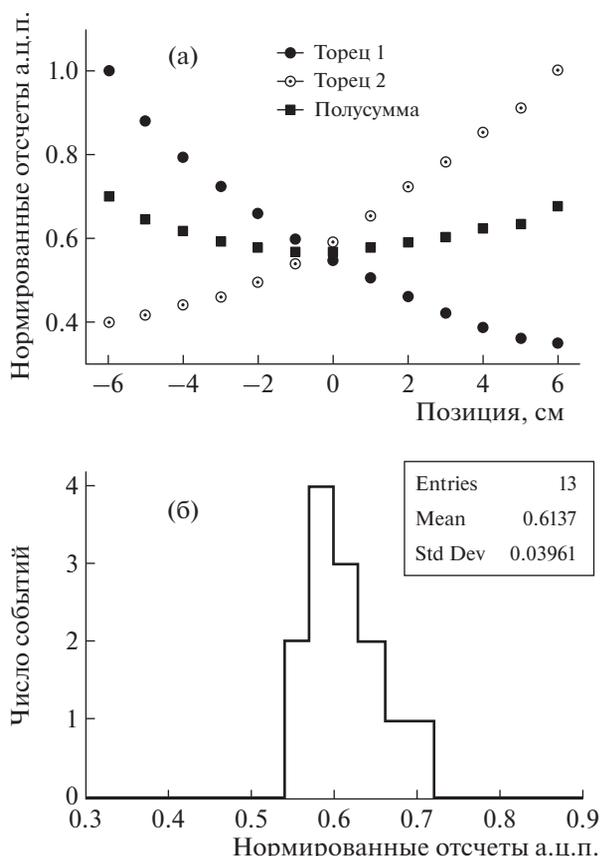
На втором этапе было выполнено сканирование пучком вдоль пластин годоскопов для определения продольной неоднородности светосбора. На рис. 3 и 4 представлены результаты измерения амплитуд сигналов в зависимости от положения пучка вдоль пластин кварцевого (рис. 3) и сцинтиляционного (рис. 4) годоскопов. Здесь же представлены гистограммы распределений средних световых выходов вдоль пластин годоскопов. Как видно, разброс амплитуд сигнала с одного торца кварцевой пластины достигает 20% от среднего значения. Для сцинтиляционной пластины этот разброс в два раза больше, что указывает на худшую прозрачность сцинтиллятора и, соответственно, большее ослабление света при прохождении вдоль пластины. В то же время среднее значение световых выходов остается достаточно постоянным вдоль пластин со среднеквадратичным отклонением разброса  $\sim 2.2\%$  для кварцевой пластины и  $\sim 6.4\%$  для сцинтиляционной (см. рис. 3б и 4б).

Существенная зависимость амплитуды сигнала от точки прохождения заряженной частицы в сцинтиляционной пластине позволяет применить алгоритм восстановления координаты данной точки с использованием относительной разницы амплитуд на противоположных торцах пластины. Поскольку амплитуда сигнала практически прямо пропорциональна расстоянию от точки прохождения частицы до соответствующего торца, легко построить корреляционные зависимости между соответствующими амплитудами и координатами точки. На рис. 5 показана точность восстановления координаты точки прохождения заряженной частицы, определенная по разнице амплитуд сигналов с противоположных торцов сцинтиляционной пластины. Согласно рис. 5, точность со-

ставляет около 2 см. Таким образом, можно определить обе координаты точки прохождения заряженного фрагмента через плоскость сцинтиляционного годоскопа. Это позволяет использовать пространственную информацию о



**Рис. 3.** Зависимость амплитуды сигнала от точки прохождения пучка в кварцевой пластине (а) и гистограмма средних значений амплитуд сигналов для всех точек вдоль кварцевой пластины (б).

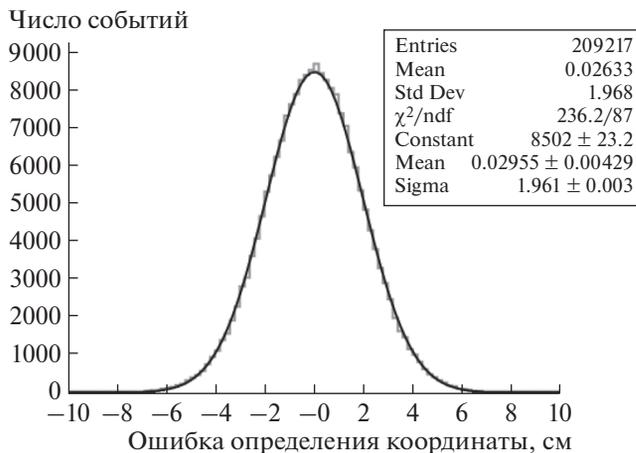


**Рис. 4.** Зависимость амплитуды сигнала от точки прохождения пучка в сцинтилляционной пластине (а) и гистограмма средних значений амплитуд сигналов для всех точек вдоль сцинтилляционной пластины (б).

распределениях ядерных фрагментов для восстановления плоскости реакции в ядро-ядерных столкновениях.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных измерений световыхода и его неоднородности вдоль пластин сцинтилляционного и кварцевого годоскопов подтверждают возможность использования последних для регистрации фрагментов с зарядом, начиная с  $Z = 1$ , в эксперименте BM@N. Годоскопы предназначены для регистрации зарядов фрагментов, проходящих в отверстие переднего адронного калориметра. Информация о распределениях зарядов этих фрагментов в сочетании с



**Рис. 5.** Точность восстановления координаты точки прохождения заряженной частицы, определенная по разнице амплитуд сигналов с противоположных торцов сцинтилляционной пластины.

выделенной энергией фрагментов в переднем адронном калориметре позволит определить центральность ядро-ядерных столкновений в предстоящих экспериментах на BM@N.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа частично поддержана грантами Российского фонда фундаментальных исследований № 18-02-40081-мега, № 18-02-40061-мега и № 18-02-40079-мега.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. BM@N collaboration. Conceptual design report of BM@N. Russia, 2013. <http://nica.jinr.ru/files/BM@N/BMN-CDR.pdf>
2. Kapishin M. // PoS(CORFU2018). 2019. P. 188. <https://doi.org/10.22323/1.347.0188>
3. Guber F., Finogeev D., Golubeva M., Ivashkin A. // JINST. 2020. V. 15(05). C05020. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/05/C05020>
4. Morozov S., Golubeva M., Guber F., Ivashkin A., Karpushkin N., Makarov A., Zherebtsova E. // JINST. 2020. V. 15(09). C09028. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/09/C09028>
5. TQDC AFI electronics. <https://afi.jinr.ru/TQDC-16>
6. Баранов А.Г., Губер Ф.Ф., Ивашкин А.П., Известный А.В., Морозов С.В., Решетин А.И., Басков В.А., Дронов В.А., Львов А.И., Полянский В.В., Салахутдинов Г.Х., Науумов П.Ю. // ПТЭ. 2021. № 3. С. 15. <https://doi.org/10.31857/S0032816221020129>