

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КООРДИНАТ В МИКРОСТРИПОВЫХ ТРЕКОВЫХ ДЕТЕКТОРАХ ДЛЯ КОНФИГУРАЦИИ ПЕРВОГО ФИЗИЧЕСКОГО СЕАНСА ЭКСПЕРИМЕНТА ВМ@N

Д. А. Баранов *

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Рассматриваются особенности восстановления пространственных координат пролета заряженных частиц через плоскости трековых детекторов экспериментальной установки ВМ@N в конфигурации, спроектированной для первого физического сеанса эксперимента, проведенного в начале 2023 г. Приводятся основные этапы реконструкции координат, включающие в себя процедуры кластеризации сигнальных откликов на микростриповых плоскостях и нахождения координат пролета частиц по пересечениям активных стрипов. Также учитываются особенности формирования сигнала в конкретных типах детекторов, влияющие на эффективность реконструкции.

This paper considers coordinate reconstruction of charged particles passed through the tracking detectors of the ВМ@N setup in the configuration designed for the first physics run conducted in 2023. The main stages of coordinate reconstruction are described, including procedures for clustering and finding the coordinates by crossing active strips on microstrip readout planes. The peculiarities of signal formation in specific types of detectors, which affect the reconstruction efficiency, are also taken into account.

PACS: 89.20.Ff; 07.05.Tr

ТРЕКОВАЯ СИСТЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА ВМ@N

Трековая система является одной из главных подсистем экспериментальной установки ВМ@N [1]. Она служит для восстановления траекторий заряженных частиц, образуемых в результате первичного взаимодействия пучка ионов с фиксированной мишенью, и состоит из высокоточных координатных детекторов с микростриповым съемом информации. В данной работе рассматривается конфигурация трековой системы, которая была разработана для первого физического сеанса эксперимента, проведенного в начале 2023 г. на ускорительном комплексе NICA. В отличие от предыдущих сеансов, которые являлись техническими

* E-mail: dbaranov@jinr.ru

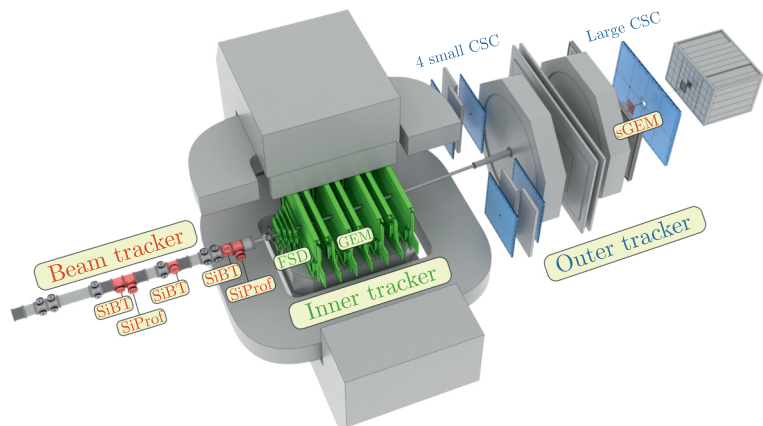


Рис. 1. Трековая система эксперимента BM@N для первого физического сеанса в 2023 г.

и были направлены на тестирование и отладку детекторных подсистем, последний проведенный сеанс нацелен на получение определенных физических результатов, заявленных в научно-исследовательской программе эксперимента.

Актуальная конфигурация трековой системы в составе экспериментальной установки BM@N имеет гибридную структуру (рис. 1). Она включает в себя три компонента: ионно-пучковый трекер, внутренний и внешний трекары.

Ионно-пучковый трекер состоит из микростриповых полупроводниковых детекторов на основе кремния (SiBT и SiProf), расположенных внутри металлической вакуумной трубы, и предназначен для отслеживания траектории пучка ионов с целью улучшения точности восстановления первичной вершины взаимодействия. Также для отслеживания и контроля отклонения пучка после его пролета в вакуумной трубе в экспериментальную установку был включен микростриповый детектор sGEM (small GEM), который можно отнести к данной части трекара.

Внутренний трекар включает в себя два типа координатных детекторов, расположенных внутри широкоапертурного магнита: кремниевый детектор FSD (Forward Silicon Detector) и детектор на основе газового электронного умножителя GEM (Gas Electron Multiplier).

Внешний трекар представлен четырьмя малыми и одной большой катодно-стриповыми камерами CSC (Cathode Strip Chamber). Они расположены позади магнита и служат для улучшения точности реконструкции траекторий заряженных частиц за счет добавления дополнительных регистрирующих плоскостей. В будущих сеансах планируется использовать две большие катодно-стриповые камеры в качестве замены

Основные параметры микростриповых детекторов установки ВМ@N

Трекер	Детектор	Размеры сенсорного элемента	Шаг стрипов, мм	Стереугол, °
Ионно-пучковый	SiBT	61 × 61 мм	0,475	Ортогональный
	SiProf	58 × 58 мм	1,8	Ортогональный
	sGEM	10 × 10 см	0,8	Ортогональный
Внутренний	FSD	63 × 93 мм 63 × 126 мм	~ 0,1	2,5
	GEM	163,2 × 45 см 163,2 × 39 см	0,8	15
Внешний	Малая CSC	1129 × 1065 мм	2,5	15
	Большая CSC	2160 × 1453 мм	2,5	15

двум дрейфовым камерам DCH (Drift Chamber). Несмотря на то, что в последнем проведенном сеансе эксперимента DCH детекторы входили в состав внешней трековой системы, они не рассматриваются здесь по причине того, что показали достаточно низкую эффективность на множественности событий рассматриваемого сеанса.

В таблице приведены основные параметры координатных микростриповых детекторов трековой системы ВМ@N.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КООРДИНАТ С МИКРОСТРИПОВЫХ ПЛОСКОСТЕЙ

Все трековые детекторы, упомянутые выше, имеют микростриповый съем информации. Сигнал от пролетевшей через чувствительный объем детектора заряженной частицы регистрируется сенсорными элементами, представляющими собой два набора стрипов. Плоскость стрипов одного слоя ориентирована относительно плоскости стрипов другого на определенный стереугол с целью получения пары координат (x, y) пролета заряженной частицы. Расположение стриповых слоев относительно чувствительного объема, а также формирование сигнала на стрипах зависит от типа детектора. В трековой системе эксперимента используются три типа координатных детекторов, различаемых по принципу формирования сигнала (рис. 2).

В основе функционирования рассматриваемых детекторов лежит принцип ударной ионизации, благодаря которой пролетающая частица порождает определенное число вторичных носителей заряда, которые затем, дрейфуя к электродам под действием электрического поля, формируют на считывающих элементах сигналы в виде набора кластеров.

Процедура реконструкции координат с микростриповых плоскостей выполняется в два этапа. Первый этап — это кластеризация, заключаю-

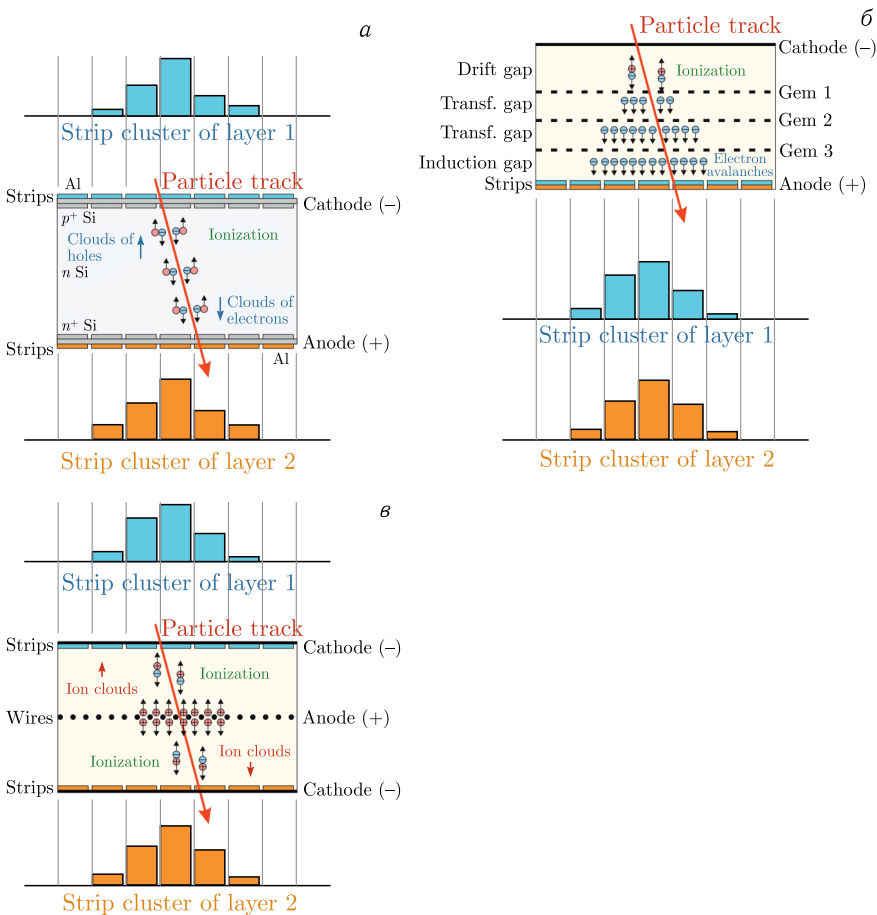


Рис. 2. Формирование сигнала на стрипах для различных типов детекторов: а) кремниевый детектор; б) GEM-детектор; в) CSC-детектор

сящая в поиске одномерных кластеров на стриповых плоскостях и определении их параметров. На втором этапе проводится поиск стриповых пересечений, называемых «хитами», на основе параметров найденных кластеров.

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ

Суть алгоритма одномерной кластеризации заключается в группировке стрипов, которые зарегистрировали сигнал от пролетевшей заряженной частицы. Он состоит из нескольких шагов, а именно: задание

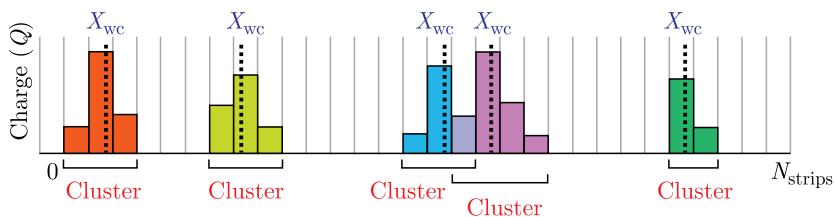


Рис. 3. Кластеризация сигнала на стрипах: поиск одиночных и разделение близко расположенных кластеров, вычисление их взвешенных центров (X_{wc})

порога обрезания шумовой составляющей, поиск и разделение близко расположенных кластеров по алгоритму Peak-Valley finding algorithm и определение центров кластеров по методу среднего взвешенного значения (рис. 3).

Также необходимо оценить ошибку восстановления одномерной координаты, которую необходимо учитывать в процедуре поиска треков [2]. Для этого используются несколько подходов в зависимости от параметров кластера. В настоящее время для обработки данных последнего экспериментального сеанса применяются оценочные критерии по формулам среднеквадратического отклонения [3] и среднего абсолютного значения [4]. Для оценки ошибки восстановления координаты одностриповых кластеров используется формула

$$X_{err} = \frac{\text{pitch}}{\sqrt{12}}.$$

ПОИСК ХИТОВ

Процедура поиска хитов, т. е. координат точек пролета заряженных частиц через плоскость детектора, основана на методе поиска стриповых пересечений, образуемых в результате проекции активных стрипов одного слоя на стрипы другого.

Алгоритм поиска хитов состоит из нескольких этапов. Первый этап, по сути, является продолжением процедуры кластеризации, в результате которой имеется набор средневзвешенных значений найденных кластеров по каждому стриповому слою. Другими словами, каждое средневзвешенное значение является одномерной координатой, определяющей усредненную позицию всех стрипов определенного кластера. Комбинации одномерных координат одного набора стрипов с координатами другого, которые преобразованы в двумерные координаты на плоскости, можно геометрически интерпретировать как пересечения средневзвешенных стрипов (рис. 4).

Следует отметить, что основным недостатком восстановления координат с микростриповых плоскостей заключается в появлении ложных пересечений, называемых «фейками». Это точки, через которые не пролетели частицы.

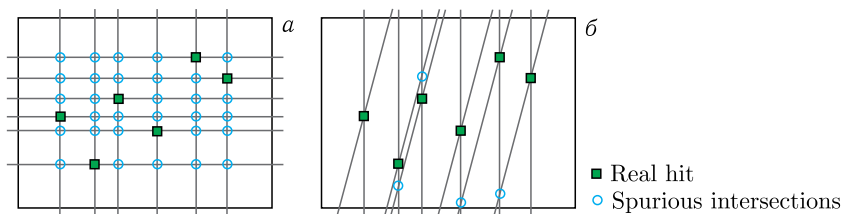


Рис. 4. Пересечения на стриповых плоскостях: а) стереоугол 90° ; б) стереоугол 15°

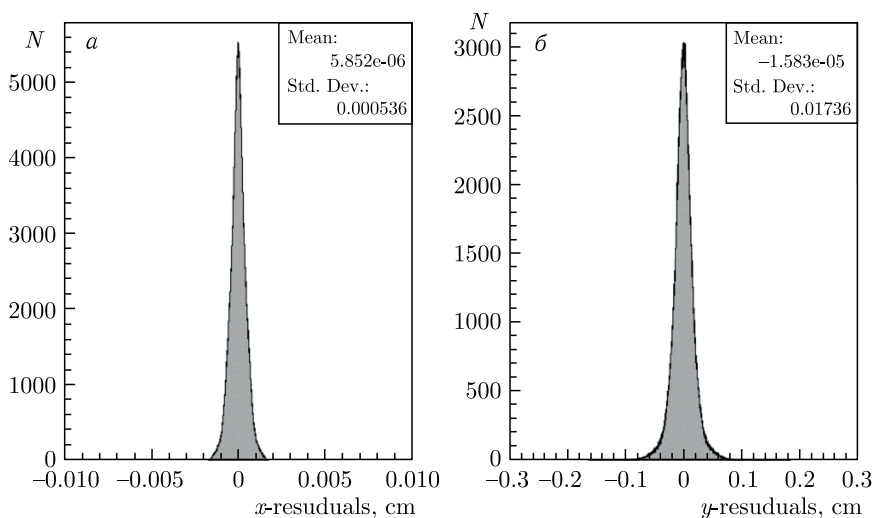


Рис. 5. Распределения отклонений координат X (а), Y (б) для ближайшей к мишени плоскости детектора FSD

На основе данных, полученных с помощью детального моделирования откликов в трековых детекторах, были рассчитаны отклонения координат реконструированных точек от точек с заранее известными значениями. Точность восстановления координат определяется параметрами найденных кластеров на этапе кластеризации и геометрией считывающей плоскости на этапе поиска стриповых пересечений. Также величина отклонения во многом зависит от особенностей формирования сигнала в конкретном типе детектора и угла пролета заряженной частицы через плоскость детектора.

В качестве примера приводятся графики распределений отклонений реконструированных координат X , Y от их заранее известных значений для ближайших к мишени плоскостей детекторов FSD и GEM для конфигурации первого физического сеанса эксперимента BM@N (рис. 5 и 6).

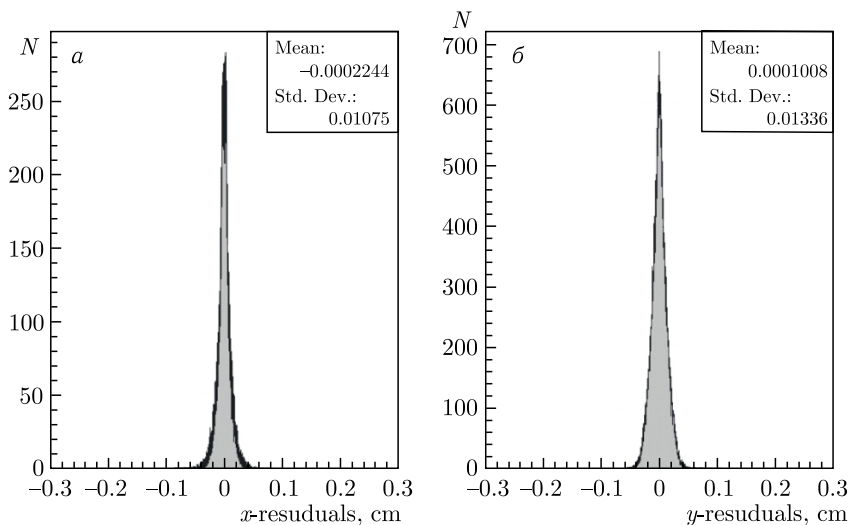


Рис. 6. Распределения отклонений координат X (а), Y (б) для ближайшей к мишени плоскости детектора GEM

Следует отметить, что уменьшение стереоугла между стрипами с целью потенциального сокращения количества ложных пересечений зачастую приводит к увеличению ошибки восстановленной координаты Y .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренная в работе процедура реконструкции пространственных координат для детекторов с микростриповым съемом информации реализована в виде программного обеспечения, встроенного в среду BmnRoot [5], и используется для обработки экспериментальных данных, получаемых с координатных детекторов трековой системы эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kapishin M.N.* Studies of Baryonic Matter at the BM@N Experiment (JINR) // Nucl. Phys. A. 2019. V. 982. P. 967–970.
2. *Batyuk P.N., Baranov D.A., Gertsenberger K.V., Merts S.P.* Track Reconstruction in the BM@N Experiment // Eur. Phys. J. Web Conf. 2020. V. 226. P. 03003.
3. Root Mean Square Deviation. https://en.wikipedia.org/wiki/Root-mean-square_deviation (accessed 17.09.2023).
4. Mean Absolute Deviation. https://en.wikipedia.org/wiki/Average_absolute_deviation (accessed 17.09.2023).
5. *Batyuk P.N., Gertsenberger K.V., Merts S.P., Rogachevsky O.V.* The BmnRoot Framework for Experimental Data Processing in the BM@N Experiment at NICA // Eur. Phys. J. Web Conf. 2019. V. 214. P. 05027.