

УДК 539.1.074

БЫСТРЫЙ МЕТОД ПОИСКА ТРЕКОВ В МНОГОСЛОЙНЫХ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕРАХ СПЕКТРОМЕТРА HADES

*Г.Н.Агакишиев, Ю.В.Заневский, А.Г.Нехаев, В.Н.Печенов,
Л.П.Смыков, О.В.Фатеев, С.П.Черненко*

В работе описывается быстрый метод поиска кандидатов в треки во внутренней трековой системе установки HADES. Он позволяет находить комбинации проволок, относящихся к одному треку, и положение этого трека в пространстве с точностью, в несколько раз превосходящей расстояние между чувствительными проволоками, не используя при этом информацию о времени дрейфа. Метод является первой частью алгоритма реконструкции треков в системе многослойных дрейфовых камер (MDC), но кроме этого он может использоваться для быстрого контроля и анализа работы MDC и других детекторов установки во время сеанса облучения спектрометра.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Fast Method for Searching for Tracks in Multilayer Drift Chambers of HADES Spectrometer

G.N.Agakichiev et al.

A fast method for the search of track candidates in the inner tracking system of the HADES experiment is presented. The method allows one to find a set of hit wires which belong to a track and calculate the track coordinate with spatial resolution of few times better than the distance between the sense wires without using any information about drift time. The method is developed as first part of the algorithm for track reconstruction in multilayer drift chambers (MDC) of HADES spectrometer. The method can be applied for the on-line monitoring of MDC and other detectors without any drift time calibration.

The investigation has been performed at Laboratory of High Energies, JINR.

1. ВВЕДЕНИЕ

Спектрометр HADES (High-Acceptance Di-Electron Spectrometer) [1] создается коллаборацией ученых разных стран для исследований в пучках адронов и ядер на ускорителе SIS (GSI, Дармштадт). Основными элементами установки (см. рис. 1,2) являются газовый черенковский детектор (RICH), многослойные дрейфовые камеры (MDC), тороидальные сверхпроводящие магниты (Coil), времяпролетные детекторы (TOF) и детекторы электромагнитных ливней (Pre-Shower). Основная цель создания спектрометра — поиск и исследование свойств плотной и горячей ядерной материи посредством изучения свойств

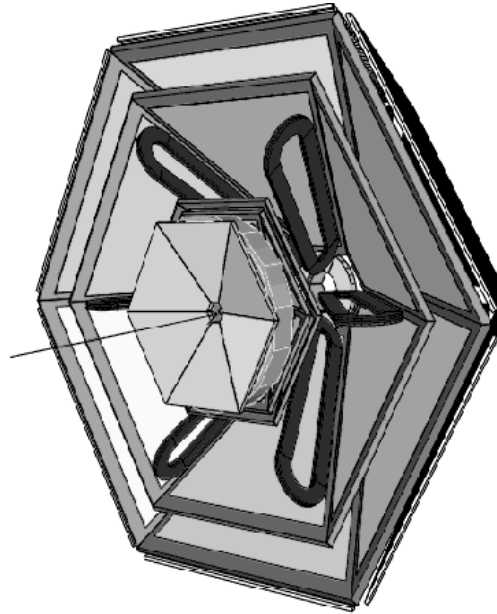


Рис. 1. Общий вид спектрометра NADES

(массы, ширины) диэлектронных распадов легких векторных мезонов (ρ , ω , ϕ), образующихся при столкновениях различных ядер при энергиях пучка $1 \div 2$ ГэВ/нуклон. Геометрический акцептанс спектрометра $\sim 40\%$ [2], планируемое разрешение по эффективным массам диэлектронных пар в области ρ/ω -мезонов $\sim 0,8\%$.

Эксперименты будут проводиться на ускорителе SIS с пучками различных ядер (до ^{238}U включительно).

Спектрометр состоит из шести (см. рис. 1) одинаковых, по набору детекторов, секторов по азимутальному углу (60° на один сектор). Частицы, родившиеся при столкновении в мишени и не испытавшие рассеяния на большие углы, оставляют трек в пределах одного сектора, что позволяет находить треки в каждом секторе по отдельности.

Основная трековая часть спектрометра — многослойные дрейфовые камеры (MDC). В каждом секторе находится четыре камеры MDC: две камеры расположены до магнита и две — после. Каждый модуль MDC имеет форму равнобедренной трапеции, и состоит из шести слоев сигнальных (анодных) и потенциальных проволок, ориентированных под углами $+40^\circ$, -20° , 0° , $+20^\circ$ и -40° по отношению к основанию трапеции и семи плоскостей катодных проволок, намотанных под углом 90° .

В табл. 1 приведены расстояния между сигнальными проволоками (H), расстояния между катодными плоскостями (W), геометрические размеры MDC (MDC представляет собой равнобедренную трапецию), где A — меньшее основание трапеции, B — большее, C — боковая сторона и количество сигнальных проволок в каждой плоскости для I (ближняя к мишени), II, III и IV MDC.

Выходной информацией MDC являются номера сработавших проволок и времена дрейфа, которые после калибровки пересчитываются в расстояния от соответствующих

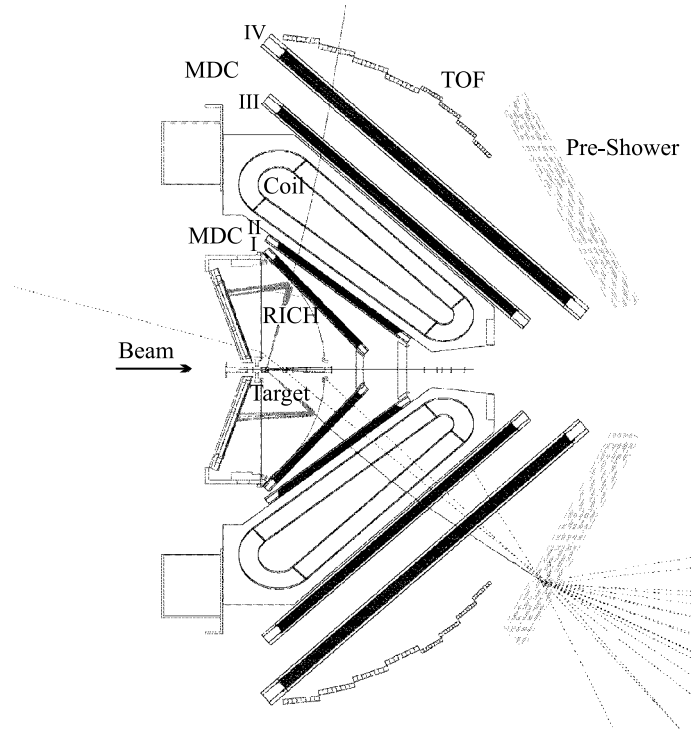


Рис. 2. Схематичный вид спектрометра HADES: RICH — газовый черенковский детектор, MDC — многослойная дрейфовая камера, Coil — тороидальный сверхпроводящий магнит, TOF — время-пролетный детектор, Pre-Shower — детектор электромагнитных ливней

проволок. Пространственное разрешение MDC — $70 \div 100$ мкм. Наличие шести плоскостей чувствительных проволок при высокой, близкой к 100%, эффективности каждой проволоки позволяет восстанавливать отрезки треков (положения и направления) в каждой MDC по отдельности.

При разработке алгоритма поиска и восстановления треков в системе дрейфовых камер мы исходили из двух условий:

а) расчетные максимальные загрузки камер MDC — $20 \div 25$ заряженных частиц на одну камеру. Если решать задачу поиска треков в MDC методом переборки всех комбинаций сработавших проволок, то при таких нагрузках мы будем иметь порядка 10^6 комбинаций на одну MDC. Поэтому желательно иметь первичный фильтр для уменьшения количества комбинаций на несколько порядков;

б) конструкция магнита и расположение детекторов MDC таково, что магнитное поле практически не проникает в камеры и в первом приближении участки треков до магнита и после него можно считать прямолинейными. Это позволяет восстанавливать отрезки треков не в каждой MDC по отдельности, а в двух парах MDC (MDC I–MDC II и MDC III–MDC IV).

Исходя из этого создаваемый алгоритм восстановления треков состоит из следующих этапов.

Таблица 1

МDC	Н, мм	W, мм	Размер, мм			Количество сигнальных проволок					
			A	B	C	+40 ⁰	-20 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	+20 ⁰	-40 ⁰
I	5	5	144	800	880	168	173	156	157	176	176
II	6	5	205	905	1088	184	192	172	172	192	192
III	12	8	359	1905	2186	187	191	171	170	191	188
IV	14	10	395	2338	2748	192	200	184	184	208	200

1. Поиск кандидатов в треки на отрезке MDC I–MDC II (первичный фильтр). Под кандидатом в трек здесь и далее понимается набор номеров сработавших проволочек, предположительно относящихся к одному треку, и начальное приближение параметров этого отрезка трека.

2. Фитирование этих отрезков с учетом времени дрейфа. При этом фитирующая программа должна определить, является ли данный кандидат истинным или ложным треком и какие из проволок кандидата принадлежат этому треку.

3. Определение вершины события и уточнение параметров треков с учетом вершины.

4. Поиск кандидатов в треки на отрезке MDC III–MDC IV (после магнитного поля) как продолжений треков, найденных в MDC I–MDC II. Это означает, что для каждого трека, найденного в MDC I–MDC II, будут выявляться возможные продолжения треков в MDC III–MDC IV.

5. Фитирование этих отрезков с учетом времени дрейфа и проверка, действительно ли данный кандидат является продолжением трека, найденного на отрезке MDC I–MDC II.

6. Фитирование всего трека и определение импульса частицы.

Цель данной работы — рассказать о первом этапе алгоритма восстановления треков в системе дрейфовых камер, методе поиска кандидатов в треки в MDC I–MDC II. Основная задача метода — нахождение кандидатов в треки от частиц, родившихся в мишени. Метод задумывался как быстрый первичный фильтр, позволяющий уменьшить количество комбинаций сработавших проволок на несколько порядков, но он нашел применение и для решения таких задач, как визуализация данных, проверка работы других детекторов и определение эффективности MDC. Поскольку информация о времени дрейфа, нуждающаяся в предварительной калибровке, на этом этапе не используется, а сам метод не нуждается в очень точном определении геометрического положения детекторов, эти приложения могут применяться непосредственно во время сеансов облучения спектрометра.

Проверка метода производилась на моделированных Au-Au-столкновениях при энергии 1 А ГэВ и экспериментальных данных об Ag-Ti-взаимодействиях при энергии 1,75 А ГэВ. Поскольку алгоритм восстановления треков только создается, не все параметры метода поиска кандидатов в треки подобраны наиболее оптимально.

2. МЕТОД ПОИСКА КАНДИДАТОВ В ТРЕКИ

Метод основан на двух свойствах спектрометра HADES. Это достаточно малый размер мишени вдоль оси пучка ($2 \div 3$ см) относительно расстояния от мишени до MDC (> 40 см) и прямолинейная форма трека на участке «мишень–магнит».

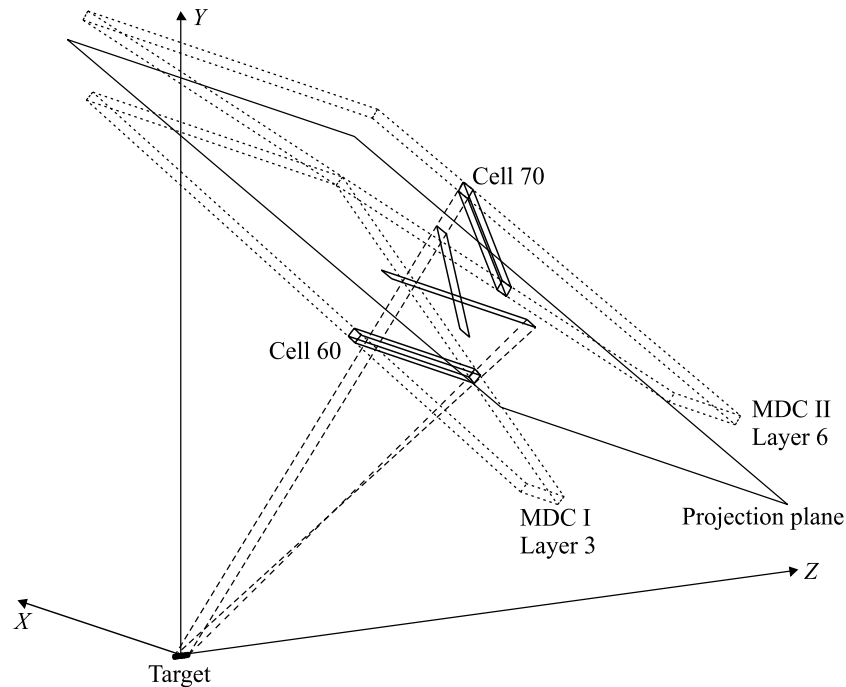


Рис. 3. Принципиальная схема проецирования чувствительных объемов проволок на одну плоскость относительно мишени. Пучок ускоренных ядер направлен вдоль оси Z . MDC I Layer 3 и MDC II Layer 6 — объемы дрейфового газа для 3-й и 6-й плоскостей чувствительных проволок в MDC I и MDC II соответственно. Cell 60 и Cell 70 — чувствительные объемы проволок с номерами 60 и 70. Толщины объемов дрейфового газа плоскостей и поперечные размеры чувствительных объемов газа проволок увеличены в три раза. Projection plane — плоскость, на которую осуществляется проецирование чувствительных объемов сработавших проволок. На этой плоскости показаны проекции от чувствительных объемов двух проволок. Target — мишень, состоящая из 12 пластинок. Пунктирные линии, идущие от мишени, показывают, как осуществляется проецирование

Основная идея метода заключается в проецировании чувствительных объемов сработавших проволок на одну плоскость (см. рис. 3, на этом же рисунке изображена система координат, которая будет использоваться в дальнейшем). Напомним, что речь идет только об одном секторе спектрометра, т.к. интересующие нас треки целиком располагаются в пределах одного сектора. Поскольку треки на отрезке мишень — MDC I–MDC II практически прямолинейны, на эту плоскость проецируются чувствительные объемы сработавших проволок из обеих MDC, что значительно уменьшает вероятность появления ложных треков и упрощает процедуру поиска треков.

Так как мишень не является точечной, проецирование для каждой проволоки осуществляется относительно первой (по пучку) и последней точек мишени (поперечными размерами мишени в нашем случае можно пренебречь) и суммарная «тень» от этих проекций принимается за проекцию чувствительного объема проволоки. Это можно представить как тень на экране от непрозрачного чувствительного объема проволоки при линейном источнике света длиной, равной длине мишени, располагающемся на месте

мишени. В принципе, отклонение трека от прямолинейной траектории из-за многократного рассеяния и влияния магнитного поля, а также поперечный размер мишени можно учесть, если взять длину мишени несколько больше, чем ее реальный размер, или несколько увеличить поперечные размеры проекций чувствительных объемов проволок.

Плоскость проецирования выбирается между MDC I и II так, чтобы поперечные размеры проекций были примерно одинаковы для проволок из MDC I и II. Проекция чувствительных объемов сработавших проволок от одной частицы, летящей из мишени, дают на этой плоскости область пересечения. Для нахождения таких областей на плоскости проецирования создается двухмерная гистограмма, в ячейки которой при их «затенении» добавляется по единице. Таким образом, в области пересечения проекций сработавших проволок образуется пик. Остается только найти такие пики, определить номера проволок, соответствующих каждому из данных пиков, и положения этих пиков (с ошибками) на плоскости проецирования. Поскольку положение плоскости проецирования известно, несложно определить положения этих точек в пространстве, что можно считать начальным приближением для траектории частицы (другая точка трека — центр мишени).

Рассмотрим более подробно эту процедуру.

2.1. Выбор шага построения проекционной гистограммы. Большой шаг построения гистограммы приводит к потере точности нахождения треков, очень мелкий шаг — к потерям компьютерного времени расчета, которое практически пропорционально количеству ячеек в гистограмме. Размеры шагов по осям X и Y в гистограмме разумно сделать пропорциональными среднему размеру области пересечения по этим осям. В нашем случае шаг по оси X примерно в 2,7 раза больше, чем по оси Y . Это связано с углами натяжения сигнальных проволок. Результаты, приведенные в данной работе, получены при количестве ячеек по осям X и Y — 320 и 860 соответственно. Наиболее оптимальный выбор количества ячеек в гистограмме можно будет сделать только после создания программ полного восстановления треков в MDC.

2.2. Заполнение проекционной гистограммы. Нами были опробованы два метода заполнения гистограммы. Первый из них — это добавление в «затененный» бин гистограммы по единице от каждой сработавшей проволоки. При этом надо заметить, в один бин могут дать вклад до трех соседних проволок из одной плоскости. Таким образом, максимальная величина пика в гистограмме может достигать в нашем случае 36. Вторым методом — это добавление в «затененный» бин гистограммы только одной единицы для проволок из одной плоскости. При этом максимальная высота пика будет равна количеству плоскостей чувствительных проволок. Для нашего случая эта высота равна 12 (две MDC по 6 плоскостей), и такая величина бина означает, что он «затенен» чувствительными объемами сработавших проволок из всех 12 плоскостей. Проверка двух методов на моделированных данных показала, что второй метод дает лучшие результаты по всем параметрам (разрешение, количество ложных пиков, быстродействие и т.д.). Поэтому мы используем второй метод и в дальнейшем будем говорить только о нем.

На рис. 4,*а* показана двухмерная гистограмма. На ней видны проекции чувствительных объемов проволок, сработавших от трех пролетевших частиц. На рис. 4,*б* показан пик от пересечения проекций в трехмерном виде (верхний трек на рис. 4,*а*). Видно, что пик имеет высоту, равную 12.

2.3. Поиск пиков в проекционной гистограмме. Пиком считается область соприкасающихся бинов, величина которых больше или равна некоторой заданной величине

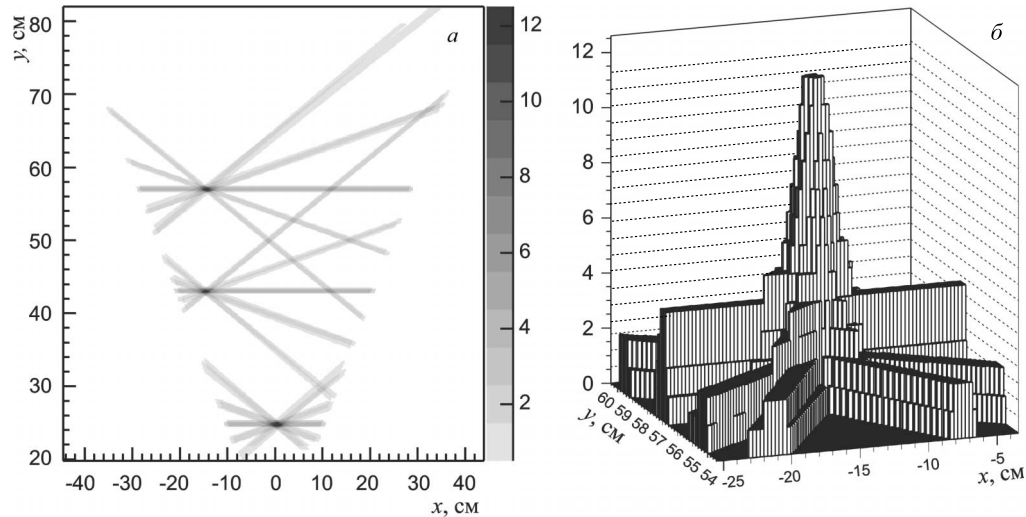


Рис. 4. *а)* Двухмерная гистограмма, построенная для одного сектора спектрометра, через который пролетело 3 частицы (моделированные данные). Шкала справа от гистограммы показывает соответствие между величиной и цветом (в шкале серого) бина в гистограмме. *б)* Трехмерное представление области гистограммы на рис. *а*, соответствующее прохождению одного из треков

H_{\min} . Для поиска таких областей мы использовали метод, известный в литературе как метод «стека», который применяется для перекрашивания областей изображений.

Наиболее важным моментом здесь является выбор минимальной высоты пика H_{\min} , то есть пик какой высоты считать кандидатом в трек. Чем ниже уровень поиска пиков, тем больше будет количество ложных пиков и тем чаще пики от близко расположенных треков будут объединяться в один пик. Чем выше уровень, тем больше треков будет теряться. Оптимальный выбор зависит от трех параметров: от загрузки MDC, от эффективности MDC и от минимально необходимого количества сработавших проволок для восстановления трека.

В нашем случае минимально необходимое для восстановления трека количество сработавших проволок в одной MDC равно четырем (из разных слоев MDC). Таким образом, искать пики высотой меньше восьми (по четыре в каждой MDC) нет необходимости.

Первые экспериментальные измерения эффективности срабатывания проволок в MDC спектрометра HADES показали, что при отлаженной аппаратуре регистрации и сбора данных эффективность будет не менее 97 ÷ 99%. Если взять для расчетов эффективность 98% и учесть, что частица, пролетая через одну плоскость чувствительных проволок, может пролететь и через две соседние ячейки (средняя доля таких случаев не меньше 20%), получим, что для одной частицы вероятность получить сигналы от сработавших проволок в 12 плоскостях равна 0,82, в 11 плоскостях — 0,16, в 10 — 0,015, в 9 — 0,0008 и в 8 — 0,00003. Отсюда видно, что не менее 99,5% треков дают пики на плоскости проецирования высотой, равной или больше 10.

Наиболее сильное влияние на выбор H_{\min} оказывает загрузка MDC. Самый простой способ учесть загрузку камеры — это менять величину H_{\min} в зависимости от среднего по 12 плоскостям количества сработавших проволок. Результаты, приведенные ниже, были

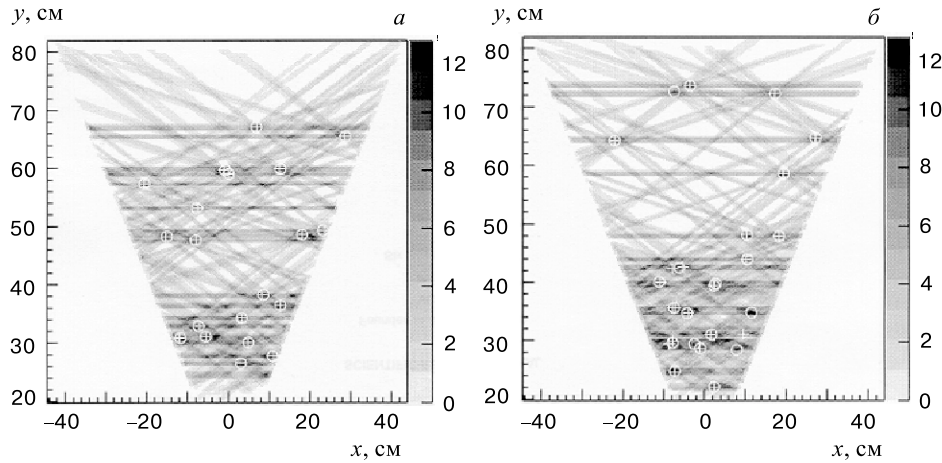


Рис. 5. Двухмерные проекционные гистограммы. Белые крестики — точки пересечения треков с плоскостью проецирования. Белые кружочки — кандидаты в треки, найденные программой поиска кластеров. *а*) Пролетело 20 частиц из мишени и один вторичный δ -электрон (на рисунке крестиком не показан), найдены все треки. *б*) Пролетело 22 частицы из мишени и δ -электрон (не показан), найдено 23 кластера, 5 из которых ложные, 3 содержат по два трека, один трек не найден

получены при следующих условиях: при загрузке ≤ 3 сигналов на одну плоскость — $H_{\min} = 8$, при загрузке ≤ 6 — $H_{\min} = 9$, при загрузке ≤ 10 — $H_{\min} = 10$, при загрузке ≤ 15 — $H_{\min} = 11$ и при больших загрузках — $H_{\min} = 12$. Конечно, это не очень хороший подход, поскольку он не учитывает локальной загрузки MDC (нижняя часть, ближняя к оси реакции, MDC в среднем загружена сильнее, чем верхняя). В будущем мы планируем реализовать учет локальной загрузки MDC.

На рис. 5 показаны две двухмерные проекционные гистограммы, полученные на моделированных событиях. В событии, изображенном на рис. 5, *а*, программа нашла все треки от заряженных частиц, пролетевших через данные детекторы, и при этом не появилось ни одного ложного кластера. В событии, изображенном на рис. 5, *б*, три пары близко расположенных треков были найдены как три кластера (по два трека в каждом), 5 кластеров оказались ложными и один трек не был найден. Судя по рисунку, причина, по которой этот трек не был найден, — рассеяние на большой угол. Не был проведен детальный анализ потерянных треков, так как для этого необходимо иметь полный пакет программ восстановления треков, но по визуальному анализу двухмерных гистограмм основная причина потерь треков — перерассеяние на большие углы (трек после этого уже не имеет направления на мишень).

2.4. Определение номеров проволок в кластере и его положения в пространстве.

Задача определения номеров проволок в кластере является обратной задачей по отношению к заполнению гистограммы. При заполнении определяются номера бинов, «затеняемые» сработавшими проволоками, при определении номеров проволок находятся такие сработавшие проволоки, которые «затеняют» конкретный бин гистограммы.

Положение кластера на плоскости проецирования (\bar{x}, \bar{y}) определяется как центр тяжести бинов, входящих в этот кластер. Пусть n — количество бинов в кластере,

H_i — содержимое i -го бина, x_i и y_i — центры i -го бина, s_x и s_y — ширины бинов по соответствующим осям, $W_i = H_i - H_{\min} + 1$ — вес бина, тогда

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \sum_{i=1}^n (x_i \cdot W_i) / \sum_{i=1}^n W_i, \\ \bar{y} &= \sum_{i=1}^n (y_i \cdot W_i) / \sum_{i=1}^n W_i, \\ \Delta\bar{x} &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^2 \cdot W_i) / \sum_{i=1}^n W_i - \bar{x}^2 + (s_x/2)^2}, \\ \Delta\bar{y} &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i^2 \cdot W_i) / \sum_{i=1}^n W_i - \bar{y}^2 + (s_y/2)^2}.\end{aligned}\tag{1}$$

Зная \bar{x} - и \bar{y} -положения кластера на плоскости проецирования и положение плоскости проецирования в пространстве, можно вычислить координату z (с ошибкой) этого кластера. Таким образом, выходной информацией программы является не только набор номеров проволок для каждого кандидата в треки, но и точка в пространстве (с ошибками), рядом с которой прошел трек, а поскольку метод рассчитан на поиск треков, идущих из мишени, за вторую точку трека можно принять, в первом приближении, центр мишени.

2.5. Объединение кластеров. Необходимость процедуры объединения кластеров легко понять на следующем примере. Пусть мы имеем кластер от реального трека, осуществляющего сигналы в 12 плоскостях. Проекция чувствительных объемов сработавших проволок из 11 плоскостей дают некоторую область пересечения на плоскости проецирования. Сработавшая от этого трека проволока из 12 слоя (пусть номер этой проволоки i) также частично перекрывает эту область, но есть еще одна сработавшая проволока из этого слоя (допустим, с номером $i + 2$), проекция которой тоже частично пересекается с этой областью, но проекции проволок i и $i + 2$ между собой не перекрываются. Если при этом мы ищем кластеры на уровне $H_{\min} = 12$, то получим два кластера, отличающиеся между собой только одним номером проволоки. Два таких кластера, на наш взгляд, лучше объединить в один.

В настоящее время мы придерживаемся следующих критериев. Если два кластера имеют совпадающие номера проволок в четырех или более слоях каждой MDC, они объединяются в один кластер. Положение кластера при этом пересчитывается.

3. ПРОВЕРКА МЕТОДА НА МОДЕЛИРОВАННЫХ ДАННЫХ

Для проверки метода мы использовали 200 моделированных событий центральных Au-Au-столкновений (средняя множественность $\simeq 15$ заряженных частиц на один сектор спектрометра). События были пропущены через программу GEANT, в которой моделировалось прохождение частиц через вещество детекторов, воздух и магнитное поле. Полученная из GEANT-программы информация была преобразована в отклики детекторов.

В табл. 2 представлены результаты анализа в зависимости от загрузки, использованы следующие обозначения: N_{tr} — количество проволок, сработавших от одного трека в MDC I и MDC II одного сектора; N_{cl} — количество проволок, давших один кластер; $N_{\text{cl}(\text{tr})}$ — количество проволок в кластере от трека, давшего этот кластер.

В первой строке таблицы приведены средние доли отобранных с помощью описываемого метода проволок от общего числа проволок, сработавших от одного трека, в

зависимости от загрузки. Видно, что находятся практически все проволоки. Потери могут быть связаны с перерасеянием частиц, приводящим к отклонению трека от направления на мишень.

Во второй строке приведены средние доли проволок, принадлежащих одному треку в кластере, от общего числа проволок в этом кластере. Видно, что при увеличении загрузки примесь проволок от «чужих» треков заметно возрастает.

В третьей — средние доли ложных кандидатов в треки.

В четвертой — доли кластеров, содержащих один трек.

В пятой — доли ненайденных треков. Основная причина потерь треков — рассеяние на большие углы. Меньшая доля таких треков при множественности 5 связана с тем, что при такой множественности уровень поиска кластеров понижается до уровня $H_{\min} = 10$.

На рис. 3 показано разрешение метода поиска треков по координатам x и y . На распределениях приведены средние значения разниц координат и корни из дисперсий (RMS) этих распределений. Описание этих распределений функцией Гаусса дало значения $\sigma_{x_g - x_c} = 0,16$ см и $\sigma_{y_g - y_c} = 0,07$ см.

Таблица 2

Количество треков на один сектор	5	15	25
$\langle N_{cl(tr)}/N_{tr} \rangle$	99,8%	99,6%	99,2%
$\langle N_{cl(tr)}/N_{cl} \rangle$	90%	82%	72%
Доля «ложных» кластеров	4%	10%	24%
Доля кластеров, содержащих один трек	98%	95%	92%
Доля ненайденных треков	3%	6%	6%

Таблица 3

Плоскость	$RMS_{x_g - x_c}$, см	$\sigma_{x_g - x_c}$, см	$RMS_{y_g - y_c}$, см	$\sigma_{y_g - y_c}$, см
MDC I, плоскость 1	0,249	0,162	0,158	0,131
MDC I, плоскость 6	0,248	0,161	0,138	0,112
Плоскость проецирования	0,241	0,158	0,108	0,072
MDC II, плоскость 1	0,294	0,196	0,144	0,100
MDC II, плоскость 6	0,305	0,208	0,162	0,122

Если, как указывалось выше, взять за вторую точку трека центр мишени, то можно найти пересечения трека с плоскостями чувствительных проволок и сравнить их с точками пересечения треков с этими плоскостями, известными нам из программы GEANT. В табл. 3 приводятся разрешения для некоторых плоскостей, определенные таким образом. Плоскость 1 MDC I — ближайшая к мишени, плоскость 6 MDC II — наиболее удаленная от мишени.

Для проверки правильности расчета ошибок (см. п. 2.4) мы посчитали долю треков, у которых $|x_g - x_c|/\Delta\bar{y} < 1$ (по оси y аналогично). При гауссовской форме распределения ошибок доля таких событий должна быть 67%. В нашем случае их около 90%, что говорит о некотором завышении величин ошибок.

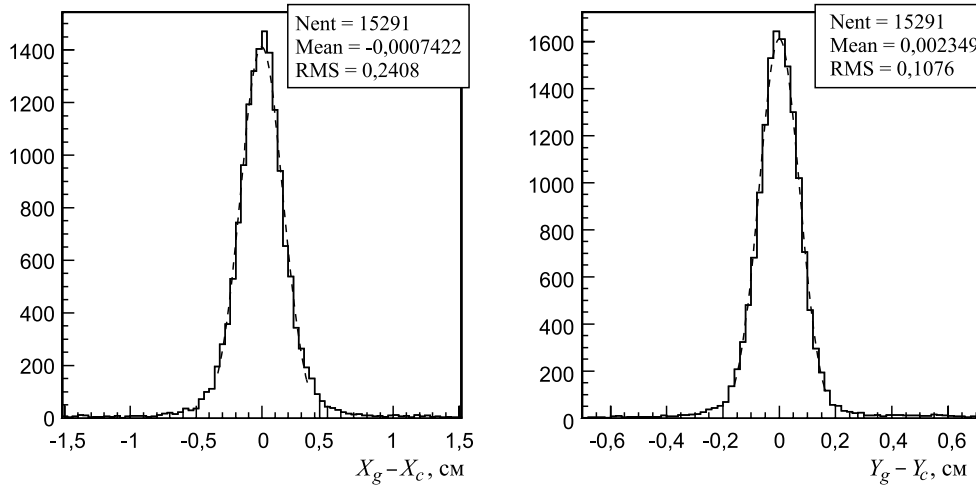


Рис. 6. Разрешение метода поиска кандидатов в треки. $(x_g - x_c)$ и $(y_g - y_c)$ — разница координат точки пересечения трека с плоскостью проецирования (x_g, y_g) и положением кластера на этой плоскости (x_c, y_c) . Пунктирные линии — описание распределений функцией Гаусса

Подводя итоги, хочется отметить, что величина ошибки в определении точки пересечения трека с плоскостью проецирования и плоскостями чувствительных проволок значительно меньше, чем расстояния между чувствительными проволоками в MDC (5 мм для MDC I и 6 мм для MDC II). А представление о треке, как о прямой линии, проходящей через центр мишени и позицию кластера на плоскости проецирования, является хорошим начальным приближением для фитирующей программы.

4. ПРОВЕРКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В первых тестовых сеансах облучения установки HADES, проведенных осенью 1999 г., была задействована только одна MDC (MDC II, изготовленная в Дубне группой Ю.В.Заневского, см. [3,4]). Поэтому максимальная высота пика в проекционной гистограмме для этих данных равна 6. Для плоскости проецирования использовали плоскость, совпадающую с первой плоскостью чувствительных проволок MDC II. Поскольку прецизионных измерений положения MDC в пространстве не производилось, применяли такую же геометрию установки, как для моделированных событий.

На рис. 7 показаны две двухмерные гистограммы, полученные из экспериментальных данных. Видно, что программа эффективно находит треки.

Совместно с группой, работающей над созданием детектора TOF и обработкой данных, полученных из TOF, мы провели сравнение данных о треках, полученных в MDC, и данных TOF. Детектор TOF представляет собой набор сцинтилляционных пластиковых стрипов, параллельных оси x . Всего 64 стрипа. Сигнал о времени прилета частицы снимается с двух сторон полосок, что позволяет восстановить координату x трека. Координата y пересчитывается исходя из положения этой полоски в пространстве. Детектор

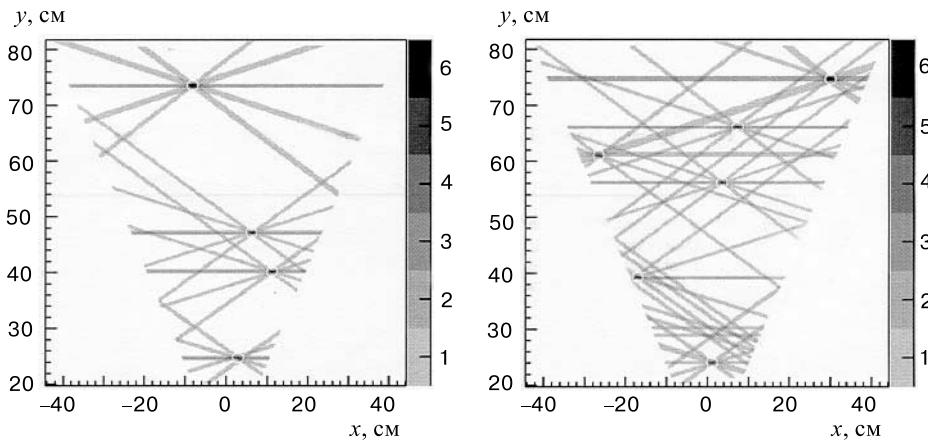


Рис. 7. Двухмерные проекционные гистограммы. Белые кружочки — кандидаты в треки, найденные программой поиска кластеров. Экспериментальные данные

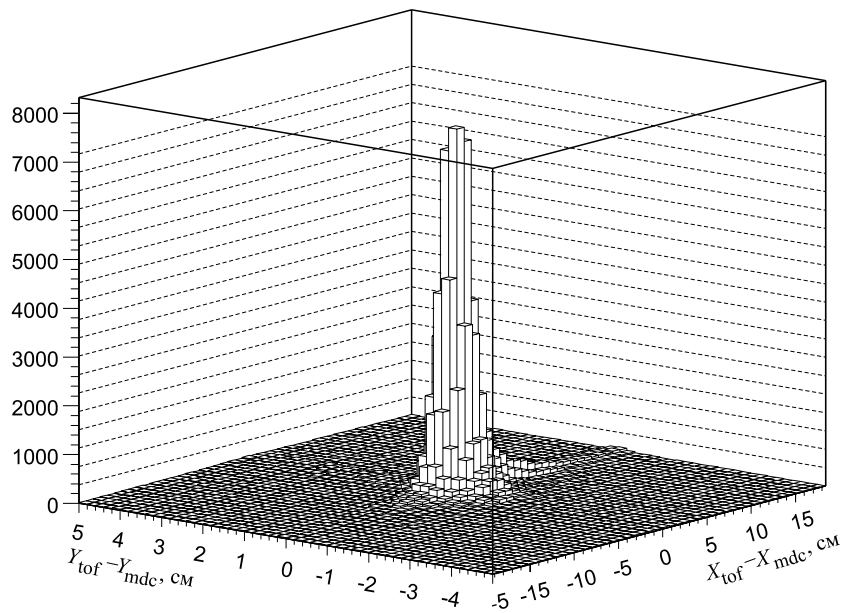


Рис. 8. x_{tof} и y_{tof} — координаты треков, зарегистрированные детектором TOF и пересчитанные в систему координат плоскости проецирования. x_{mdc} и y_{mdc} — координаты кластеров на плоскости проецирования

перекрывает область проекционной гистограммы выше (по y) 50 см. Для анализа использовались экспериментальные данные без магнитного поля. Из рис. 8 видно, что положения треков, найденные проекционным методом, и положения треков, определенные TOF-детектором, хорошо совпадают. Для пересчета координат использовалось предполо-

жение о том, что начало трека расположено в центре мишени. Для сравнения отбирались события, имеющие один трек в TOF и один трек в MDC в области, перекрываемой TOF-детектором $y > 50$ см.

Сравнение данных MDC и TOF показало, что описываемый в этой работе метод позволяет использовать его для проверки работы и некоторых калибровок TOF-детектора, поскольку точность определения положений треков в MDC нашим методом значительно превосходит разрешение TOF-детектора.

Другим практическим применением описываемого метода является определение эффективности MDC. Метод определения эффективности уже разработан и опробован на моделированных и экспериментальных данных, но это тема отдельной публикации. Отметим только, что он позволяет следить за работой MDC (включая электронику, например определять блоки электроники, имеющие завышенный порог регистрации сигнала) во время сеанса облучения спектрометра, поскольку при определении эффективности не используется время дрейфа MDC.

5. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ

В предыдущем параграфе мы не касались такого важного параметра, как быстродействие. Остановимся только на тех моментах, которые дали наиболее существенный вклад в повышение быстродействия. Программа написана, как и все программы анализа данных, создаваемые для спектрометра HADES, на языке C++ на основе пакета ROOT (см. <http://root.cern.ch>). Отметим, что все рисунки в этой работе сделаны при помощи программы ROOT. Информацию о создаваемом пакете программ анализа данных (вплоть до исходных текстов) для спектрометра HADES, как и о самом спектрометре, можно найти по адресу: <http://www-hades.gsi.de>.

5.1. Расчет проекций. Наибольший выигрыш в быстродействии дает предварительный расчет проекций чувствительных объемов всех проволок (до обработки событий) и хранение в оперативной памяти номеров бинов, «затеняемых» этими объемами. Может показаться, что для этого необходим большой объем памяти, но это не так, поскольку в памяти для проекции каждой проволоки хранятся номер первой строки по оси y , число строк по оси y и, для каждой строки, номера первых и последних бинов по оси x . Наибольший выигрыш по оперативной памяти получается для проволок, натянутых параллельно оси x (несколько линий по оси y), а таких около $\sim 1/3$.

5.2. Заполнение проекционной гистограммы. Напомним, что при заполнении одного бина гистограммы мы должны добавлять единицу только один раз для каждой плоскости чувствительных проволок. Чтобы избежать большого количества проверок, гистограмма заполняется следующим образом. В каждом бине гистограммы отводится 12 младших битов для хранения информации о 12 плоскостях проволок (по одному биту на плоскость). Если значение бита равно 1, значит соответствующая плоскость имеет одну или более сработавших проволок, «затеняющих» этот бин, 0 — не имеет. Заполнение бинов осуществляется с помощью логической операции «или» между текущим содержанием бина и единицей, сдвинутой на $N_l - 1$ бит влево, где N_l — номер плоскости (от 1 до 12). Таким образом, интересующая нас высота бина является количеством единичных битов в младших 12 битах машинного слова, отведенного для бина.

Чтобы избежать длительной операции подсчета количества битов в каждом бине гистограммы, заранее, до обработки событий, рассчитывается таблица (массив, назовем его T) длиной, равной максимально возможному содержанию бина гистограммы. Для 12 единичных битов это 4095. Содержимое бина гистограммы при этом используется как индекс этой таблицы, а в самой таблице хранятся количества единичных битов (количество единичных битов равно содержанию элемента массива T с номером, равным содержанию бина).

Такой подход позволяет легко реализовать еще одну возможность. Для точного восстановления трека желательно иметь сигналы от трека не менее, чем в четырех плоскостях каждой MDC. При этом возникает необходимость отличать случаи, когда бин образован проекциями от сработавших проволок, допустим, из 4 плоскостей в каждой MDC (всего 8), от случая, когда он образован проекциями из 6 и 2 или 5 и 3 плоскостей соответственно (тоже в сумме 8). Для решения этой задачи достаточно при предварительном расчете таблицы приравнять нулю бины в массиве T , соответствующие таким (6+2, 5+3, ...) комбинациям.

5.3. Определение номеров проволок, образующих кластер. При определении номеров проволок, которые образовали кластер, также можно существенно сэкономить время расчета. Для этого при поиске бинов, образующих данный кластер, запоминаются только первый и последний бины в каждой из строк кластера. А при определении номеров проволок выполняется цикл по сработавшим проволокам и проверяется, перекрывается ли диапазон линий, описывающий проекцию проволоки, с диапазоном линий кластера и, если они перекрываются, проверяется, перекрываются ли диапазоны бинов в соответствующих линиях. Если перекрытие в какой-то из линий обнаружено, номер проволоки запоминается и начинается проверка следующей проволоки.

Методы оптимизации, описанные в этом разделе, позволили довести время поиска кандидатов в треки до 0,2 с (Pentium II, 400 МГц) на одно событие с множественностью около 180 частиц на шесть секторов спектрометра.

6. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод, описанный в данной работе, позволяет быстро находить практически все треки из мишени. При этом в условиях максимально планируемой загрузки MDC качество получаемой информации таково, что для не менее чем 90 % треков эта информация может быть использована для фитирования без дополнительного уточнения.

Этот метод может применяться также во время сеанса облучения спектрометра (без проведения процедуры калибровки времени дрейфа) для быстрого получения информации о работе как самих MDC, так и других детекторов установки.

В настоящее время начаты работы по созданию версии данного метода для поиска треков в MDC, расположенных после магнита спектрометра (MDC III и MDC IV). Мы думаем, что возможности этого метода не исчерпываются описанным в работе.

Авторы выражают благодарность академику А.М.Балдину и директору ЛВЭ А.И.Маляхову за внимание и интерес к работе. Данная работа поддерживалась INTAS, Брюссель (контракты 94-1233, 96-0468), а также Минатомом (Россия) и ВМБФ (Германия) в рамках программы DLR/WTZ 662-97.

Литература

1. GSI Scientific Report 1997, GSI 98-1, Darmstadt, 1998, p.196.
2. Schicker R. et al. — Nucl. Instr. and Meth., 1996, v.A371, p.300.
3. Черненко С.П. и др. — Краткие сообщения ОИЯИ, 1999, № 5,6[97]-99, с.22.
4. Garabatos C. et al. — Nucl. Inst. and Meth., 1996, v.A372, p.379.

Рукопись поступила 28 июня 2000 года.