

Реконструкция событий в вершинном детекторе установки СВД-2 на У-70

, 2014, .209-226,

187

А. Я. Кутов

Введение

Для изучения множественного рождения частиц в области, близкой к пороговому рождению, в 2003 г. был предложен проект “Термализация” (эксперимент SERP-E-190 в ИФВЭ) [1, 2]. Он выполнялся на установке СВД-2 (Спектрометр с Вершинным Детектором-2) расположенной на выведенном пучке ускорителя У-70 ИФВЭ (Протвино, Россия) (рис. 1). Установка регистрировала вторичные частицы событий — протон-протонные взаимодействия $pp \rightarrow n_\pi \pi + 2N$ (π - мезон, N - нуклон, n_π - число мезонов) при импульсе в выведенного пучка 50 Гэв.

Основная цель проекта “Термализация” — измерение топологических сечений в области большой множественности, значительно превышающей среднюю множественность, поиск коллективного поведения вторичных частиц в этих событиях. Распределения по множественности -распределение неупругих событий по числу рождённых в них частиц $\sigma = \sum_{n=0}^{N_{ch}} \sigma_n$, где σ_n — сечение рождения n частиц или топологическое сечение, имеют важное значения для различных моделей множественного рождения частиц, которые дают чёткие предсказания относительно распределения множественности и зависимости средней множественности от энергии. Распределение частиц по множественности при энергии 50 Гэв измерено ранее [3] для заряженных частиц $N_{ch} \leq 16$. Целью проекта является измерение топологических сечений в области $N_{ch} > 16$.

Для решения этой задачи проекта автором была разработана программа реконструкции событий в вершинном детекторе (ВД) установки СВД-2. ВД является самым высокоточным прибором установки, что позволяет эффективно измерять множественность с учётом поправок на аксептанс. Он находится в головной части установки СВД-2, непосредственно за жидководородной мишенью. ВД регистрирует прохождение заряженных частиц, рождённых в результате неупругих взаимодействий

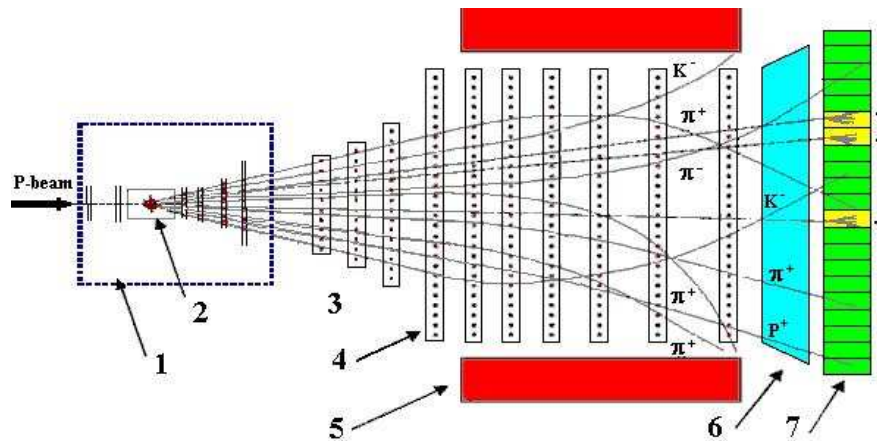


Рис. 1. Схема установки СВД-2: 1 —Вершинный детектор и пучковый телескоп; 2 — Жидководородная мишень; 3 —Дрейфовые камеры; 4 — Пропорциональные камеры магнитного спектрометра; 5 — Широкоапертурный дипольный магнит МС-7А; 6 — Пороговый черенковский счётчик; 7 — Электромагнитный калориметр (ДеГа- Детектор Гамма-квантов).

протонов с энергией 50 Гэв на протонах, ядрах водорода, жидководородной мишени. Программа реконструкции восстанавливает события на проекциях и в пространстве. Для распределения по множественности лучше всего подходит наибольшее значение множественности из двух проекций. При восстановлении треков в пространстве по косым плоскостям ВД теряется значительная часть треков события из-за неэффективности работы части стрипов, поэтому в данной работе рассматривается задача восстановления событий по проекциям ВД.

1 Вершинный детектор установки СВД-2.

Схема ВД показана на рис. 2. В его состав входят 10 плоскостей микроstriповых кремниевых детекторов. Из них четыре плоскости измеряют X-координату (X_1, X_2, X_3, X_4), стрипы располагаются параллельно оси Y. Затем, четыре плоскости измеряют Y-координату (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4), стрипы располагаются параллельно оси X. Две плоскости U и V — повёрнуты относительно детекторов X и Y на угол 10.5° градусов, U повёрнута на -10.5° , а V — на $+10.5^\circ$ относительно системы координат установки.

Микроstriповые детекторы представляют собой пластины монокристалла кремния, на одну поверхность которых наносятся тонкие электроды(стрипы), стоящие друг от друга на расстоянии 25 или 50 мкм, а другая поверхность покрывается металлическим слоем. На электроды подаётся напряжение в несколько вольт. Электроны-дырочные пары, образованные пролетающей заряженной частицей в кристалле, дви-

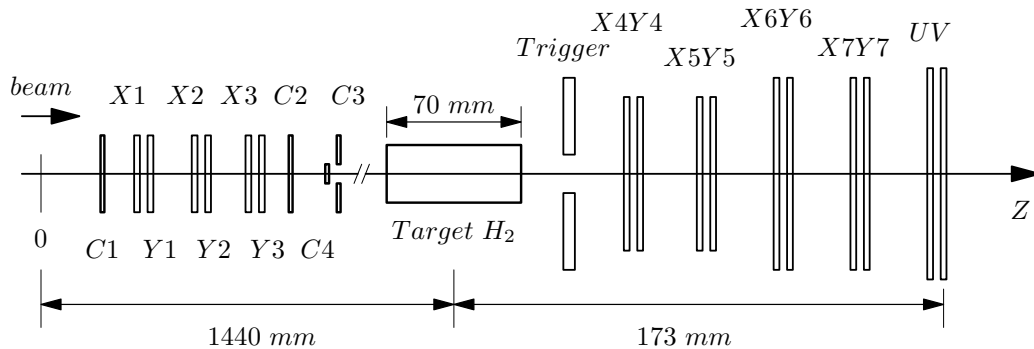


Рис. 2. Схема ВД и пучкового телескопа установки СВД-2

гаются к ближайшим электродам и регистрируются в виде импульсов тока. Пространственное разрешение микростриповых детекторов составляет $(Pitch = 50)/\sqrt{12} \approx 15$ мкм, где $Pitch$ — ширина стрипа. Временное разрешение около 10^{-8} с. Число стрипов в плоскостях X1Y1, X2Y2 — 640, в плоскостях X3Y3, X4Y4, UV — 1024. Ширина стрипов — 50 мкм.

Сигналы с микростриповых детекторов усиливаются и формируются в предварительных усилителях Gassiplex (16 каналов, 10 МГц) и Viking (128 каналов, 10 МГц), расположенных в непосредственной близости от детектора. На первых двух плоскостях X1Y1 и X2Y2 (рис. 2) установлены Gassiplex, а на X3Y3, X4Y4, UV — Viking.

2 Программа реконструкции треков в вершинном детекторе

Программа реконструкции треков в ВД состоит из двух последовательных процедур. Сначала восстанавливаются координаты пролёта частицы (хиты) по номеру сработавших стрипов и их амплитудам [4], а затем ищутся треки, проходящие через эти координаты. Срабатывание стрипа и величина амплитуды сигнала зависит от ионизационных потерь заряженных частиц проходящих через стриповую плоскость.

Восстановление координаты пролёта частицы происходит в процессе обработки данных с микростриповых детекторов, который состоит из нескольких этапов:

- а) поиск кластеров;
- б) выделение одночастичных и многочастичных кластеров;
- в) восстановление кластеров.

Кластера возникают вследствие срабатывания соседних друг к другу стрипов. Для нахождения координаты $\langle X \rangle$ в микростриповом детекторе применяется метод центра тяжести кластера:

$$\langle X \rangle = \frac{\sum A_i X_i}{\sum A_i}, \quad (1)$$

где X_i — координата стрипа и A_i — амплитуда сигнала на нём. Метод центра тяжести основан на усреднении координат стрипов из кластера с весами равными зарегистрированным амплитудам с этих стрипов.

2.1 Метод реконструкции треков

Для реконструкции треков применяется метод фильтра Калмана для распознавания треков и метод наименьших квадратов для их фитирования. Фильтр Калмана является одним из самых распространённых методов оценки параметров трека в физике и описан в работах [5]–[7]. Он позволяет восстанавливать треки в условиях повышенных шумов. На первых двух плоскостях ВД (Gassiplex) в эксперименте наблюдался повышенный шум, что даёт преимущественное право применения метода фильтра Калмана по сравнению с другими традиционными методами (например, комбинаторный метод) реконструкции событий.

2.1.1 Оценка параметров трека

В данной работе применяется частный случай реконструкции треков прямыми линиями с двумя параметрами [7]. Реконструкция треков производится по восстановленным координатам в XZ и YZ проекциях отдельно, по четырём или по трём точкам.

$$X_k = \operatorname{tg} \theta_x * Z_k + b_x, \quad Y_k = \operatorname{tg} \theta_y * Z_k + b_y, \quad k = 1, 4. \quad (2)$$

Плоскости ВД выставлены по пучку и ось Z проходит через их центры. Направление оси Z совпадает с направлением оси Z установки. Оси X и Y в ВД в системе установки соответствуют так: $X = -Y, Y = -X$. X или Y координата трека на стриповой плоскости равна свободному параметру b в локальной системе координат. θ_x и θ_y — углы наклона трека на проекциях. Пусть

$$\vec{X}_k = \begin{pmatrix} b \\ a = \operatorname{tg} \theta \end{pmatrix} \text{ — вектор параметров трека на проекции,} \quad (3)$$

$$C_k = \begin{pmatrix} f_b^2 \sigma^2 & f_{ba} \frac{\sigma^2}{\Delta Z} \\ f_{ba} \frac{\sigma^2}{\Delta Z} & f_a^2 \left(\frac{\sigma}{\Delta Z} \right)^2 \end{pmatrix} \text{ — ковариационная матрица} \quad (4)$$

параметров трека,

где σ — измерительная ошибка координаты пролёта частицы, ΔZ — расстояние между k и $k + 1$ стриповыми плоскостями, $\frac{\sigma}{\Delta Z} = \Delta \text{tg } \theta$ — ошибка тангенса угла наклона трека (слопа), $\frac{\sigma^2}{\Delta Z}$ — корреляция параметров трека, f_a, f_b — улучшающие коэффициенты, которые вычисляются автоматически от шага k к шагу $k + 1$.

В данном методе для поиска трека с помощью фильтра Калмана выполняются операции предсказания и фильтрация. Вместо операции сглаживания применяется фитирование трека методом наименьших квадратов вследствие незначительного многократного рассеяния. Предсказание оценивает вектор состояния \vec{X}_{k+1}^{extrap} для текущего измерения с использованием информации о предыдущем векторе состояния \vec{X}_k . Фильтрация оценивает состояние на основе предсказания и текущего измерения.

Шаг фильтра ("средневзвешенный формализм"):

а) **Предсказание** вектора состояния и его ковариационной матрицы:

$$\vec{X}_{k+1}^{extrap} = \mathbf{F}_k \vec{X}_k; \quad \mathbf{F}_k = \begin{pmatrix} 1 & \Delta Z \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$b_{k+1} = b_k + \Delta Z_k \text{tg } \theta; \quad a_{k+1} = a_k, \quad (5)$$

где \mathbf{F}_k — транспортная матрица, экстраполирующая трек от k стриповой плоскости до $k + 1$ плоскости.

$$\mathbf{C}_{k+1}^{extrap} = \mathbf{F}_k \mathbf{C}_k \mathbf{F}_k^T + \mathbf{Q}_k,$$

$$\mathbf{Q}_k = \begin{pmatrix} \theta^2 l^2 / 3 + \theta^2 \Delta z^2 & \theta^2 l / 2 + \theta^2 \Delta z \\ \theta^2 l / 2 + \theta^2 \Delta z & \theta^2 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

\mathbf{Q}_k — ковариационная матрица многократного рассеяния, θ — угол многократного рассеяния, который вычисляется по формуле:

$$\theta = \frac{13,6 \text{ Mev}}{\beta pc} q \sqrt{\frac{l}{X_0}} [1 + 0,038 \lg \frac{l}{X_0}] \cong \frac{0.015 \text{ Gev}}{pc} \sqrt{\frac{l}{X_0}}, \quad (7)$$

при $q=1$ — заряд рассеивающейся частицы, $\beta \sim 1$, l — толщина рассеивающего вещества, X_0 — радиационная длина, pc — импульс частицы в Гэв в приближенной формуле, l — толщина плоскости, Δz — расстояние между плоскостями.

Заряженная частица при прохождении через стриповые плоскости ВД должна терять энергию, а значит — импульс, за счёт ионизационных потерь, переходного излучения и рождения электронно-позитронных пар, что может повлиять на величину многократного рассеяния. Так как энергетические потери в ВД незначительны и поэтому мало влияют на многократное рассеяние, то ими можно пренебречь.

б) **Фильтрация.** Обновление вектора состояния и его ковариационной матрицы.

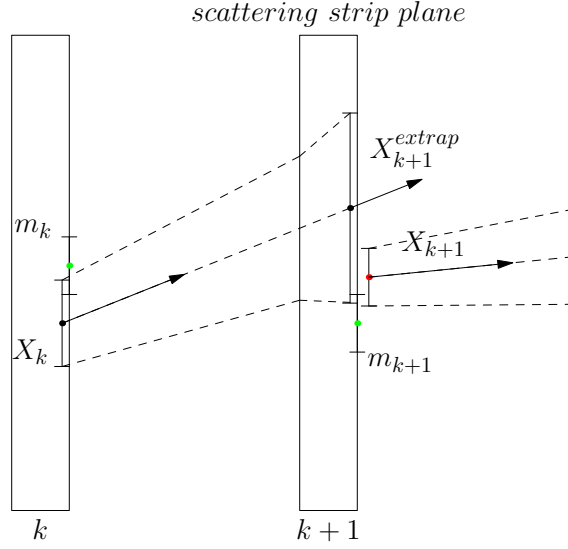


Рис. 3. Схематическое представление операций предсказания и фильтрации.

$$\mathbf{C}_{k+1} = [\mathbf{C}_{k+1}^{extrap,-1} + \mathbf{G}]^{-1}, \quad \mathbf{G} = \begin{pmatrix} 1/\sigma^2 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где \mathbf{G} — весовая матрица одного измерения.

$$\vec{X}_{k+1} = \mathbf{C}_{k+1}[\mathbf{C}_{k+1}^{extrap,-1}\vec{X}_{k+1}^{extrap} + \mathbf{G}\vec{m}_{k+1}], \quad \vec{m} = \begin{pmatrix} X_{strip} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (9)$$

где \vec{m} — вектор измерения, X_{strip} — координата хита трека на стриповой плоскости. Статистический критерий для $k+1$ -го измерения вычисляется по формуле:

$$\chi_{k+1}^2 = \vec{r}_{k+1}^T \mathbf{G} \vec{r}_{k+1} + (\vec{X}_{k+1}^{extrap} - \vec{X}_{k+1})^T (\mathbf{C}_{k+1})^{-1} (\vec{X}_{k+1}^{extrap} - \vec{X}_{k+1}),$$

где $\vec{r}_{k+1} = \vec{m}_{k+1} - \vec{X}_{k+1}$ — ошибка фильтрации (резидуал). Обновление χ^2 для трека:

$$\chi^2 = \chi_{k+1}^2 + \chi_k^2$$

Операции предсказания и фильтрации повторяются до тех пор пока в трек не будут добавлены все измерения. Последний вектор состояния даёт наилучшую оценку параметров трека, которая собрала в себе информацию всех измерений.

Чередование операций предсказания и обновления графически приведено на рис. 3 и показано отклонение частицы в слое стрипа вершинного детектора. Фильтр

Калмана учитывает эту ошибку многократного рассеяния, увеличивая ошибку для вектора состояния X_{k+1}^{extrap} на величину Q_k . Во время фильтрации вектор состояния X_{k+1} притягивается к траектории частицы, учитывая информацию k -го измерения m_k .

в) **Начальные значения.** Начальная ковариационная матрица на первой измерительной плоскости задаётся с учётом незнания первоначального наклона трека и вершины взаимодействия.

$$C_0 = \begin{pmatrix} \sigma^2 & 0 \\ 0 & M^2 \end{pmatrix},$$

где M — максимальная ошибка угла наклона трека. $M \approx \frac{L_{strip}}{\Delta Z_v}$, L_{strip} - полуширина стриповой плоскости, ΔZ_v — расстояние от первой измерительной плоскости до предполагаемой вершины. С учётом знания положения вершины и предположительного наклона трека — $M \approx \frac{6\sigma}{\Delta Z_v}$, где σ — ошибка измерения координаты пролёта частицы.

На установке СВД-2 длина мишени составляет 70 мм. Большая неопределённость положения вершины вдоль пучка по Z сказывается на эффективности поиска треков. Для улучшения этой эффективности делается поиск треков сразу для двух предполагаемых вершин. Первоначальное положение вершины взаимодействия задаётся в середине водородной мишени. Из-за особенностей работы триггера по отбору событий наибольшее число событий с вершинами регистрируется в конце мишени, ближе к вершинному детектору. Поэтому второе предполагаемое значение вершины задаётся между серединой и концом мишени. В процессе сохраняются все наилучшие параметры треков.

Ошибка многократного рассеяния частицы (6), в процессе поиска прямых треков методом фильтра Калмана, зависит от выбора начального значения импульса. В результате неупругого pp взаимодействия число заряженных частиц составляет в среднем две трети от полного числа рождённых частиц. Учитывая, что часть треков не попадает в акцептанс вершинного детектора, начальный импульс берётся равным: $P_0 = \frac{50 \text{ GeV}}{2\langle N \rangle_{hits}}$, где $\langle N \rangle_{hits}$ — среднее количество хитов на плоскости.

2.1.2 Алгоритм распознавания трека

Алгоритм распознавания треков основан на методе слежения с использованием фильтра Калмана и состоит из двух этапов: поиск трек-кандидатов и глобальный поиск треков. В данной программе автором разработан метод поиска треков, в котором эти этапы частично объединены. Схема алгоритма представлена на рис. 4.

Особенность этого метода состоит в том, что на вход процедуры слежения треков подаются все возможные трек-кандидаты, исходящие из начальной вершины, т.е. из вершины до первой стриповой плоскости, на проекции, трек-кандидат экстраполируется через каждый стрип плоскости. Обычно, изначально, треки проводятся

через уже сработавшие хиты на первой плоскости. Дело в том, что в эксперименте случается несрабатывание стрипов при прохождении частицы через стриповые плоскости. Поэтому, чтобы избежать потери трека из-за неэффективности срабатывания стрипов и неработающих стрипов на первой плоскости, начальные треки проводятся через каждый стрип первой плоскости. В процессе поиска треков предполагается, что у каждого трека может быть не более одного пропущенного отсчёта. Чтобы избежать большого числа треков-клонов, каждый последующий трек сразу же сравнивается с предыдущим треком в цикле по стрипам. Треки с одинаковыми тремя или четырьмя хитами удаляются из массива трек-кандидатов. Если один из сравниваемых треков имеет четыре хита, а другой три одинаковых хита, берётся первый.

На этапе глобального поиска треков продолжается поиск треков-клонов (ложных треков), имеющих схожий набор отсчётов (общие хиты). В цикле по трек-кандидам общие хиты на треках подвергаются амплитудному анализу. Если амплитуда отсчёта(хита) больше величины 2 mip (mip — минимальные ионизационные потери частицы, $\text{mip}=14$ у.е. амплитуды сигнала), тогда хит считается общим для двух треков. Если нет, то в выходной массив треков отбирается трек с большим числом хитов, в случае четыре, а не три хита на треке. В случае равенства хитов на треках, трек отбирается по наилучшему кхи-квадрату.

2.1.3 Фитирование треков методом наименьших квадратов

После того как треки были найдены, после глобального поиска треков, проводилось фитирование треков методом наименьших квадратов. Фитирование трека проводилось прямой линией по трём или четырём точкам. Уравнение прямой имеет вид:

$$X_i = A * Z_i + B \quad i = 1, N, \quad (10)$$

где $N = 4$ или три хита на треке, A и B — параметры прямой, X_i, Z_i — координаты хитов трека. Параметры A и B после преобразований методом наименьших квадратов вычисляются по формулам:

$$A = \frac{\sum_i^N \frac{Z_i * X_i}{(\sigma_i)^2} \sum_i^N \frac{1}{\sigma_i^2} - \sum_i^N \frac{Z_i}{\sigma_i^2} \sum_i^N \frac{X_i}{\sigma_i^2}}{\Delta}, \quad (11)$$

$$\Delta = \sum_i^N \frac{Z_i^2}{\sigma_i^2} \sum_i^N \frac{1}{\sigma_i^2} - \left(\sum_i^N \frac{Z_i}{\sigma_i^2} \right)^2, \quad (12)$$

$$B = \frac{\sum_i^N \frac{X_i}{\sigma_i^2} - A \sum_i^N \frac{Z_i}{\sigma_i^2}}{\sum_i^N \frac{1}{\sigma_i^2}}, \quad (13)$$

где σ_i — ошибка координаты хита на треке. В нашем случае σ_i равнялась ширине стрипа 50 мкм, делённой на $\sqrt{12}$, = 15 мкм. Ошибки параметров A и B вычисляются по формулам:

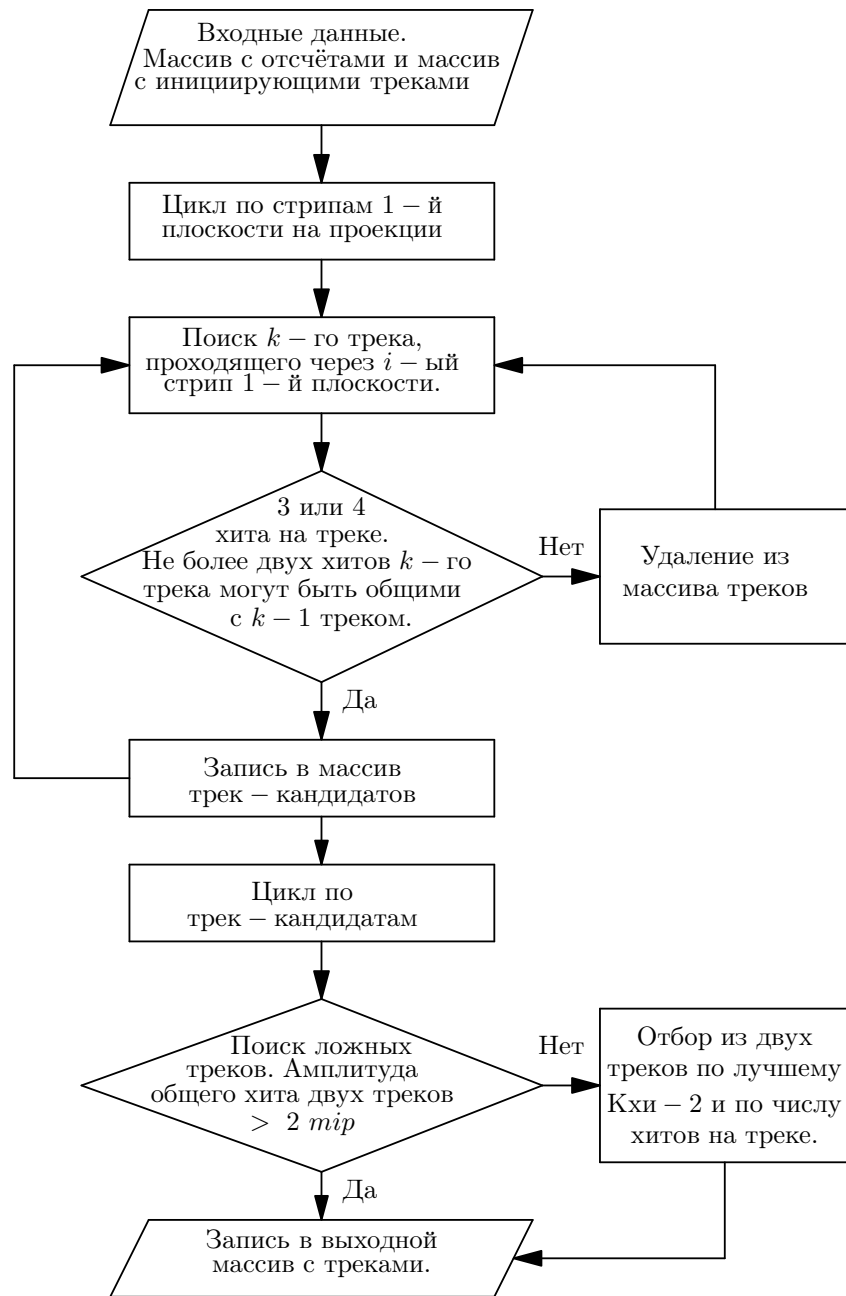


Рис. 4. Блок-схема алгоритма распознавания треков.

$$\sigma_A = \frac{1}{\Delta} \sum_i^N \frac{1}{\sigma_i^2}, \quad \sigma_B = \frac{1}{\Delta} \sum_i^N \frac{Z_i^2}{\sigma_i^2}. \quad (14)$$

2.1.4 Поиск и фитирование вершины

Первоначальное значение вершины для последующего поиска треков методом фильтра Калмана задаётся в наиболее вероятной области водородной мишени (пункт в) раздела 2.1.1). Фитирование вершины взаимодействия проводилось отдельно по проекциям X и Y . Процедура фитирования вершины могла проводится более одного раза для точного определения её нахождения. Для первого фита вершины брались все найденные прямые треки. В последующем фите последовательно отбрасывались треки с большим промахом от вершины, более 1 мм, за исключением событий с числом треков меньше трёх.

Уравнения прямых треков имеет вид:

$$X_0 = (A_x)_i Z_{x_0} + (B_x)_i, \quad i = 1, Nx, \quad (15)$$

$$Y_0 = (A_y)_i Z_{y_0} + (B_y)_i, \quad i = 1, Ny, \quad (16)$$

где X_0, Y_0 , — координаты вершины в плоскости поперечной пучку, Z_{x_0}, Z_{y_0} — координаты вершины по пучку на X и Y проекциях, $(A_x)_i, (A_y)_i$ — наклоны i -го трека на проекциях X и Y , $(B_x)_i, (B_y)_i$ — свободные параметры прямых i -го трека на проекциях X и Y , Nx, Ny — число треков, участвующих в фитировании вершины на проекциях X и Y .

Фитирование вершины проводилось методом наименьших квадратов. Координата вершины Z_{x_0} на проекции X находится по формуле:

$$Z_{x_0} = \frac{-\sum_i^{Nx} \frac{(A_x)_i (B_x)_i}{(\sigma_x)_i^2} \sum_i^{Nx} \frac{1}{(\sigma_x)_i^2} + \sum_i^{Nx} \frac{(A_x)_i}{(\sigma_x)_i^2} \sum_i^{Nx} \frac{(B_x)_i}{(\sigma_x)_i^2}}{\sum_i^{Nx} \frac{(A_x)_i^2}{(\sigma_x)_i^2} \sum_i^{Nx} \frac{1}{(\sigma_x)_i^2} - \left(\sum_i^{Nx} \frac{(A_x)_i}{(\sigma_x)_i^2}\right)^2}, \quad (17)$$

Аналогично находится координата Z_{y_0} на проекции Y . Координаты X_0 и Y_0 вычисляются по формулам:

$$X_0 = \frac{Z_{x_0} \sum_i^{Nx} \frac{(A_x)_i}{(\sigma_x)_i^2} + \sum_i^{Nx} \frac{(B_x)_i}{(\sigma_x)_i^2}}{\sum_i^{Nx} \frac{1}{(\sigma_x)_i^2}}, \quad (18)$$

$$Y_0 = \frac{Z_{y_0} \sum_i^{Ny} \frac{(A_y)_i}{(\sigma_y)_i^2} + \sum_i^{Ny} \frac{(B_y)_i}{(\sigma_y)_i^2}}{\sum_i^{Ny} \frac{1}{(\sigma_y)_i^2}}, \quad (19)$$

Ошибки треков σ_{x_i} и σ_{y_i} вычисляются по формуле:

$$\sigma_{x_i}^2 = (\sigma_{A_{x_i}} Z_{x_0} + \sigma_{B_{x_i}})^2, \quad \sigma_{y_i}^2 = (\sigma_{A_{y_i}} Z_{y_0} + \sigma_{B_{y_i}})^2.$$

Так как $\sigma_{A_{x_i}} \ll \sigma_{B_{x_i}}$, $\sigma_{A_{y_i}} \ll \sigma_{B_{y_i}}$ и Z_0 около нуля (система отсчёта связана с вершиной), то можно взять $\sigma_{x_i} \simeq \sigma_{B_{x_i}}$, $\sigma_{y_i} \simeq \sigma_{B_{y_i}}$.

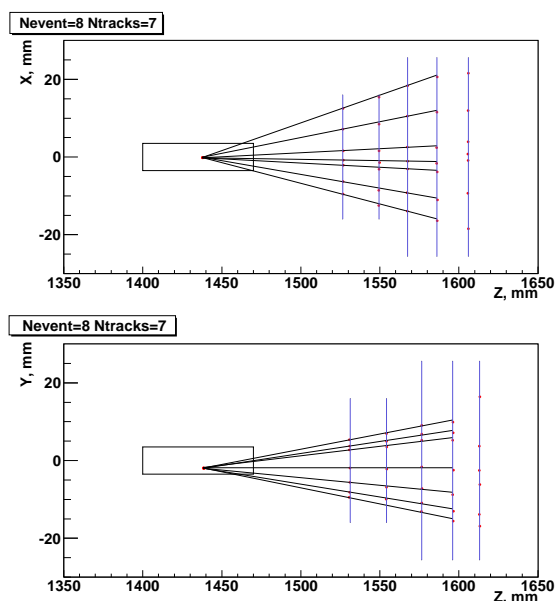


Рис. 5. Пример реконструкции моделированного события в вершинном детекторе. Прямоугольный бокс на рисунке — водородная мишень, вертикальные линии — детектирующие плоскости вершинного детектора, точки на плоскостях — хиты.

2.2 Результаты реконструкции

В этом разделе представлены результаты работы алгоритма реконструкции треков на моделированных и экспериментальных данных.

а) Визуализация событий.

Для визуализации событий в вершинном детекторе была написана специальная программа [9]. На рис. 5 представлен пример события на моделированных данных [8]. Визуально можно оценить, насколько хорошо восстанавливаются треки и вершина события. Видно, что все треки события найдены. Вершина взаимодействия восстановилась точно как была смоделирована, в середине мишени. Последние плоскости на проекциях — косые, поэтому по ним треки не рисуются.

б) Точность реконструкции вершины и треков.

Точность реконструкции вершины на моделированных данных [8] по X и Y - осям составляет 30 мкм, как показано на рис. 6 слева. Точность реконструкции вершины по оси Z составляет около 410 мкм, как показано на рис. 6 справа.

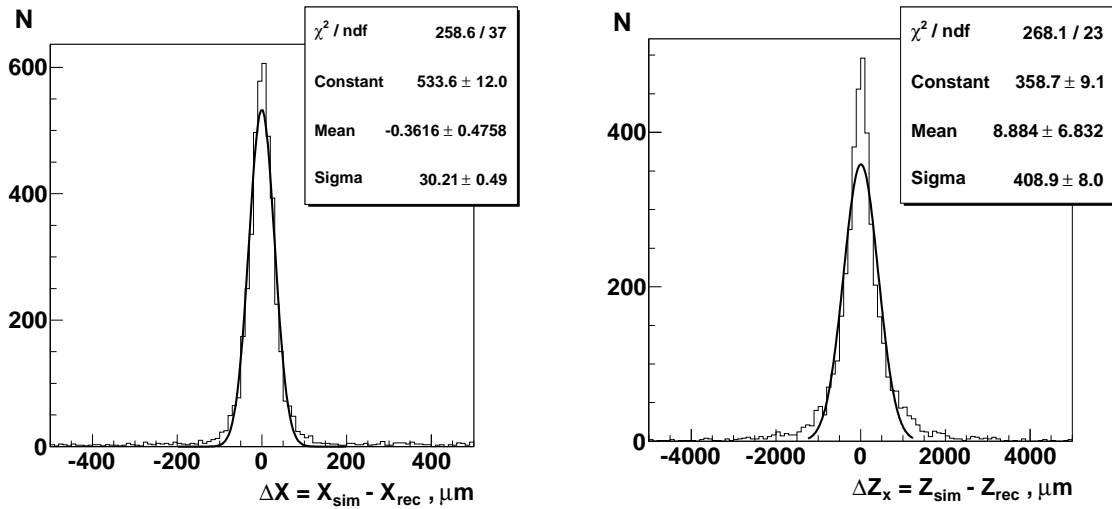


Рис. 6. Распределения по резидуалам X-координат (слева) и Z-координат (справа) вершин моделированных событий на X-проекции.

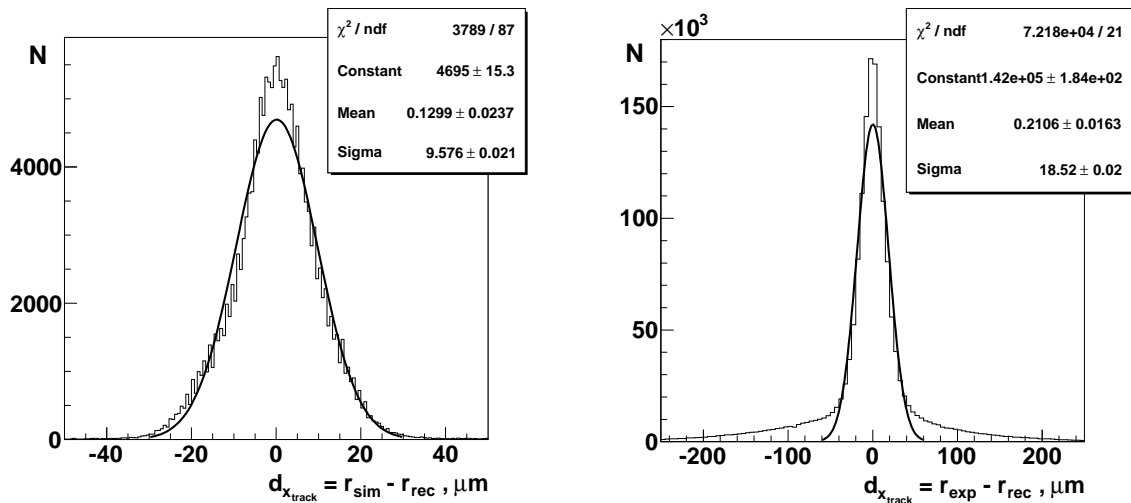


Рис. 7. Распределения по резидуалам координат хитов треков моделированных событий (слева) и для событий экспериментальных данных (справа).

Погрешность аппроксимации (невязка) треков для моделированных (без учёта элайнмента и реальных шумов) событий на проекции составляет 9.5 мкм (рис. 7, слева) и не превышает расчётную ошибку измерения $\sigma=15$ мкм, что указывает на хорошую точность реконструкции треков.

Погрешность аппроксимации треков для экспериментальных событий на проекциях составляет около 20 мкм (рис. 7, справа). Точность реконструкции ухудшилась

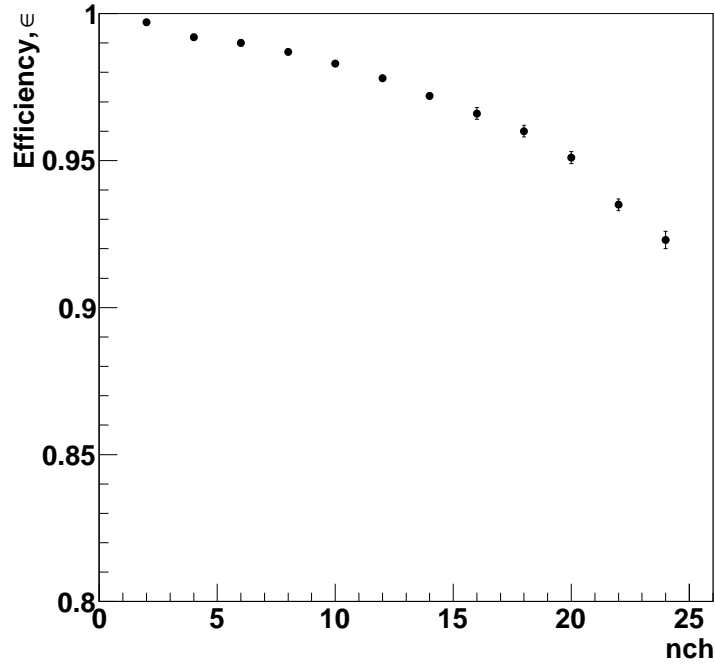


Рис. 8. Распределение эффективности распознавании треков от множественности по моделированным данным.

более чем в 2 раза. Ухудшение точности связано с ошибкой элайнмента, ошибками реконструкции хитов, шумами — ложными хитами. Вследствии этого, распределение по резидуалам (Рис. 7, справа) на краях отличается от нормального распределения, в отличии от моделированных данных (Рис. 7, слева). Из этого следует, что реальная координатная точность в эксперименте равняется менее ширины стрипа, $\sigma \approx 40-50$ мкм.

в) Эффективность распознавания треков.

Эффективность распознавания треков в зависимости от множественности (Рис. 8) определялась на моделированных событиях как

$$\epsilon_i = \frac{Nch_{rec_i}}{Nch_{sim_i}},$$

где Nch_{rec_i} — количество найденных треков в ВД, Nch_{sim_i} — количество моделированных треков в ВД, $i = 2, 4, \dots, 24$.

3 Заключение

Разработан эффективный алгоритм и программное обеспечение для реконструкции событий в ВД установки СВД-2 эксперимента SERP-E-190. Для поиска треков применяется фильтр Калмана из-за повышенных шумов в ВД, для оценки параметров треков и вершин событий — метод наименьших квадратов. Программа реконструкции даёт хорошую точность восстановления треков и вершин событий, которая соответствует расчётным значениям точности для ВД, а также высокую эффективность распознавания треков в области множественности $Nch = 16 \div 24 \approx 97 - 92\%$. По результатам обработки экспериментальных данных 2008 г., при помощи разработанной автором программы реконструкции, коллективом сотрудничества СВД-2 были получены топологические сечения [10, 11] в области большой множественности, а также обнаружено явление повышенного рождения числа нейтральных пионов при большой множественности, что является указанием перехода системы частиц в состояние Бозе-Эйнштейновского конденсата [12].

Список литературы

- [1] Авдейчиков В.В. и др. Рождение частиц в pp-взаимодействии с высокой множественностью при энергии протонов 70 Гэв, проект “Термализация”// Препринт ОИЯИ Р1-2004-190, Дубна, 2005, 45 с.
- [2] Avdeichikov V.V. et al., Spectrometer with Vertex Detector for Experiments at IHEP Accelerator// Nuclear experimental techniques, Приборы и техника эксперимента. 2013. V.56. №. 1. P.9–31.
- [3] Ammosov V.V. et al. Average charged particle multiplicity and topological cross sections in 50 Gev/c and 69 Gev/c pp interactions// Phys.Lett.B. 1972. V. 42. P. 519; V.V.Babintsev et al., IHEP preprint M-25, Protvino, 1976.
- [4] Киряков А.А. и др. Методы реконструкции координат в кремниевых микроstriповых детекторах// Препринт ИФВЭ 2003-38 ОНФ, Протвино, 2003 г.
- [5] Fruhwirth R. Application of filter methods to the reconstruction of tracks and vertices in events of experimental high energy physics// HEPHY-PUB 516/88 VIENNA Dec. 1988.
- [6] Лебедев А.А., Ососков Г.А. Реконструкция траекторий частиц в детекторах TRD и MUCH эксперимента СВМ// Препринт ОИЯИ Р10-2010-3, Дубна, 2010 г.
- [7] Hernando Jose A. The Kalman Filter Technique applied to Track Fitting in GLAST// SCIPP 98/18,1998, University of California, Santa Cruz.

- [8] GEANT - Detector Description and Simulation Tool// CERN Program Library Long Writeup W5013.
- [9] ROOT - An Object-Oriented Data Analysis Framework. Users Guide 5.12// July 2006.; <http://root.cern.ch>
- [10] Kokoulina E.S., Nikitin V.A., Petukhov Yu.P., Kutov A.Ya. Proton interaction with high multiplicity// Physics of Atomic Nuclei. 2012. V. 75. №. 6. P. 664–667.
- [11] Рядови́ков В.Н. от имени сотрудничества СВД-2. Топологические сечения в pp-взаимодействиях при 50 Гэв// Ядерная физика. 2012. Т. 75. №. 3. С. 343–348.
- [12] Рядови́ков В.Н. от имени сотрудничества СВД-2. Флуктуации числа нейтральных пионов при большой множественности в pp-взаимодействиях при 50 Гэв// Ядерная физика. 2012. Т. 75. №. 8. с. 1050–1059.