

И.26



Сибирское отделение Российской Академии наук
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им.Г.И. Будкера

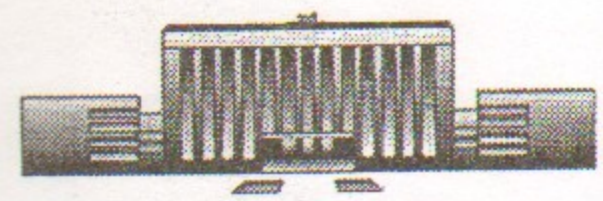
Ф.В. Игнатов, П.А. Лукин, А.С. Попов,
А.Л. Сибиданов, И.Г. Снопков, Е.П. Солодов,
А.В. Успенский, Б.И. Хазин, Д.В. Черняк

ДРЕЙФОВАЯ КАМЕРА КМД-2

ИЯФ 99-64

<http://www.inp.nsk.su/publications>

БИБЛИОТЕКА
Института ядерной
Физики им. Г.И. Будкера
ИЯФ 2714



НОВОСИБИРСК
1999

Сибирское отделение Российской Академии наук

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И.Будкера

Ф.В.Игнатов, П.А.Лукин, А.С.Попов, А.Л.Сибиданов,
И.Г.Снопков, Е.П.Солодов, А.В.Успенский, Б.И.Хазин,
Д.В.Черняк

Дрейфовая камера детектора КМД-2

ИЯФ 99-64

НОВОСИБИРСК

1999

Дрейфовая камера детектора КМД-2

Ф.В.Игнатов, П.А.Лукин, А.С.Попов, А.Л.Сибиданов,
И.Г.Снопков, Е.П.Солодов, А.В.Успенский, Б.И.Хазин, Д.В.Черняк

Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера
630090 Новосибирск, Россия

Аннотация

Дрейфовая камера является основой координатной системы детектора КМД-2, эксперименты с которым ведутся с 1992 года. В препринте описана конструкция камеры и применяемой электроники.

Проанализированы факторы, влияющие на точность измерения дрейфовой и z-координат, а также удельных ионизационных потерь.

Описаны процедуры калибровки координатных измерений.

The Drift Chamber of the CMD-2 Detector

F.V.Ignatov, P.A.Lukin, A.S.Popov, A.L.Sibidanov
I.G.Snopkov, E.P.Solodov, A.V.Uspensky, B.I.Khazin, D.V.Chernyak

The drift chamber is a basic part of the coordinate system of the CMD-2 detector which is running from 1992. In this paper the design of the chamber and electronics is described and different factors affecting drift and longitudinal coordinate resolution as well as specific energy loss measurements are analysed. The procedures of coordinate measurements calibration are described.

© Институт ядерной физики им Г.И. Будкера СО РАН, Россия

Содержание

1 Введение	5
2 Конструкция камеры	6
2.1 Механические элементы конструкции	6
2.2 Организация ячеек камеры	7
2.3 Газовая смесь	9
2.4 Некоторые характеристики материалов, примененных в конструкции камеры	10
3 Аналоговая и цифровая электроника съема сигналов с камеры	10
3.1 Аналоговые усилители сигналов с проволочек	11
3.2 Описание платы Т2А	12
3.3 Описание платы досчета	13
4 Поиск и восстановление треков заряженных частиц	16
4.1 Определение времен дрейфа	16
4.2 Восстановление координат точек трека	18
4.3 Поиск фрагментов трека	19
4.4 Добавление к фрагменту новых точек и объединение фрагментов в трек	21
4.5 Определение параметров трека частицы	22
4.6 Пространственное разрешение камеры	24
4.7 Поправки к расчетным изохронам	26
4.8 Реконструкция точек в плоскости, содержащей ось пучков	29
4.9 Алгоритм восстановления треков в плоскости, содержащей ось пучков	30
4.10 Фильтрация шумовых срабатываний проволочек	32
4.11 Влияние неточностей калибровок на систематическую ошибку восстановления z - координаты	32
4.12 Калибровка ДК с помощью Z-камеры	33
4.13 Результаты использования Z-камеры для калибровок z-координаты и реконструкции треков	35
5 Измерение удельных ионизационных потерь	37
5.1 Идентификация частиц	37
5.2 Амплитудное разрешение	38
5.3 Разделение π и e	41

- 6 Приложение 1. Электронные и ONLINE калибровки дрейфовой камеры 42
- 7 Приложение 2. ONLINE и OFFLINE структуры записи информации с дрейфовой камеры 45
- 8 Приложение 3. Извлечение информации с дрейфовой камеры детектора. 47

1 Введение

Строительство детектора КМД-2 [1], общий вид которого показан на Рис.1, началось в 1985 году, а в 1992 году он был установлен на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2М Института ядерной физики СО РАН.

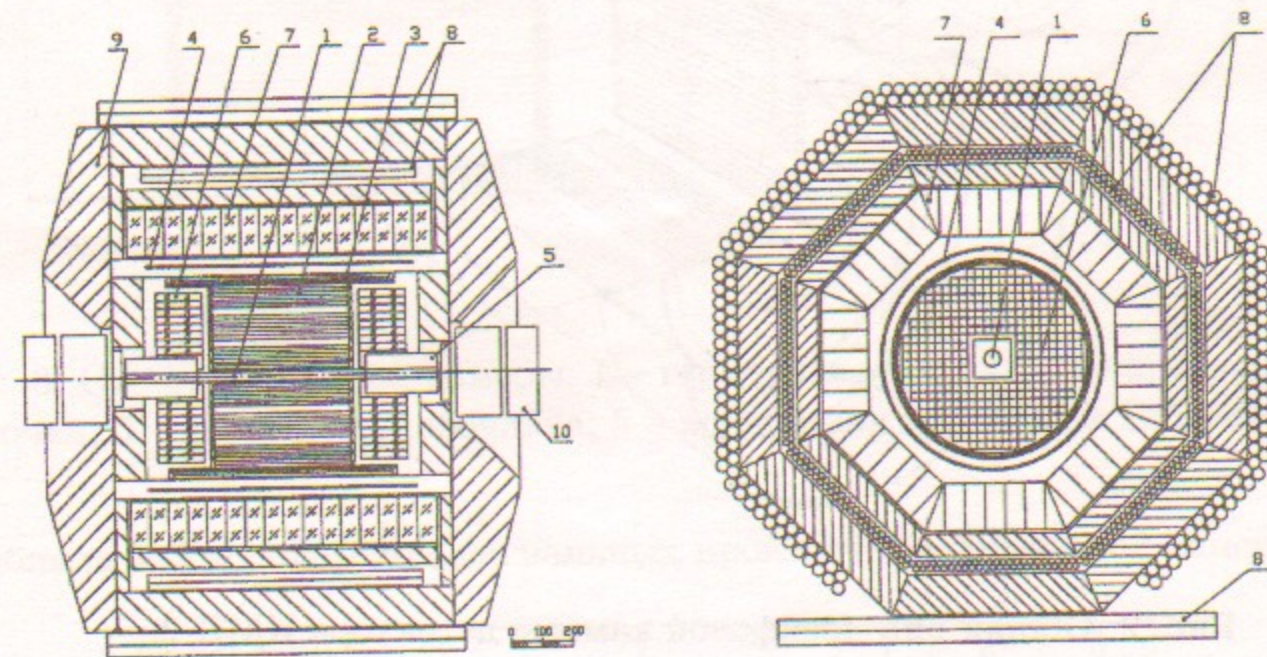


Рис. 1: Схема детектора КМД-2: 1 - вакуумная камера; 2 - дрейфовая камера; 3 - Z-камера; 4 - сверхпроводящий соленоид; 5 - компенсирующий магнит; 6 - торцевой калориметр BGO; 7 - цилиндрический калориметр CsI; 8 - мюонная система; 9 - ярмо магнита; 10 - квадрупольные линзы.

Координатная система детектора [2] включает в себя цилиндрическую дрейфовую камеру (2) и двухслойную пропорциональную Z-камеру (3) со съемом сигнала как с анодных проволочек, так и с полосковых катодов. Обе камеры помещены в сверхпроводящий соленоид (4) с однородным магнитным полем напряженностью до 1.5 Т, направленным вдоль оси пучков. Электромагнитный калориметр детектора состоит из двух частей – торцевой (6), на основе кристаллов BGO, и цилиндрической (7), на кристаллах CsI(Tl) и CsI(Na). Мюонная пробегная система (8) служит для отделения мюонов от других частиц.

В препринте описана дрейфовая камера детектора.

2 Конструкция камеры

Дрейфовая камера, общий вид которой приведен на Рис. 2, представляет

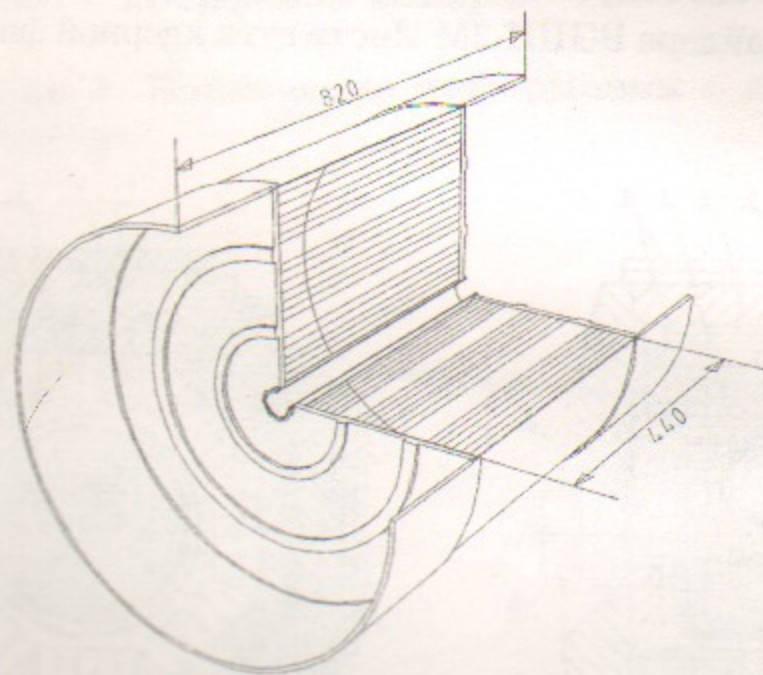


Рис. 2: Общий вид дрейфовой камеры детектора КМД-2.

собой цилиндр длиной 47 см и диаметром 60 см с измерением координаты вдоль проволочек (Z-координаты) методом деления заряда. На Рис. 3 приведена схема камеры с основными размерами.

2.1 Механические элементы конструкции

Фланцы и обечайка камеры изготовлены из СТЭФ. Обечайки толщиной 2 мм достаточно, чтобы нести нагрузку от натяжения проволочек, равную 290 кГ. Прогиб фланцев толщиной 10 мм под этой нагрузкой составляет 3 мм, что привело к необходимости предварительной деформации фланцев перед натяжением проволочек. Герметизирующая внутренняя трубка радиусом 2.075 см выполнена из двух слоев – внутреннего из лавсана толщиной 120 мкм и внешнего из алюминизированного лавсана толщиной 20 мкм, причем алюминизированная поверхность второго слоя обращена внутрь камеры и находится под нулевым потенциалом.

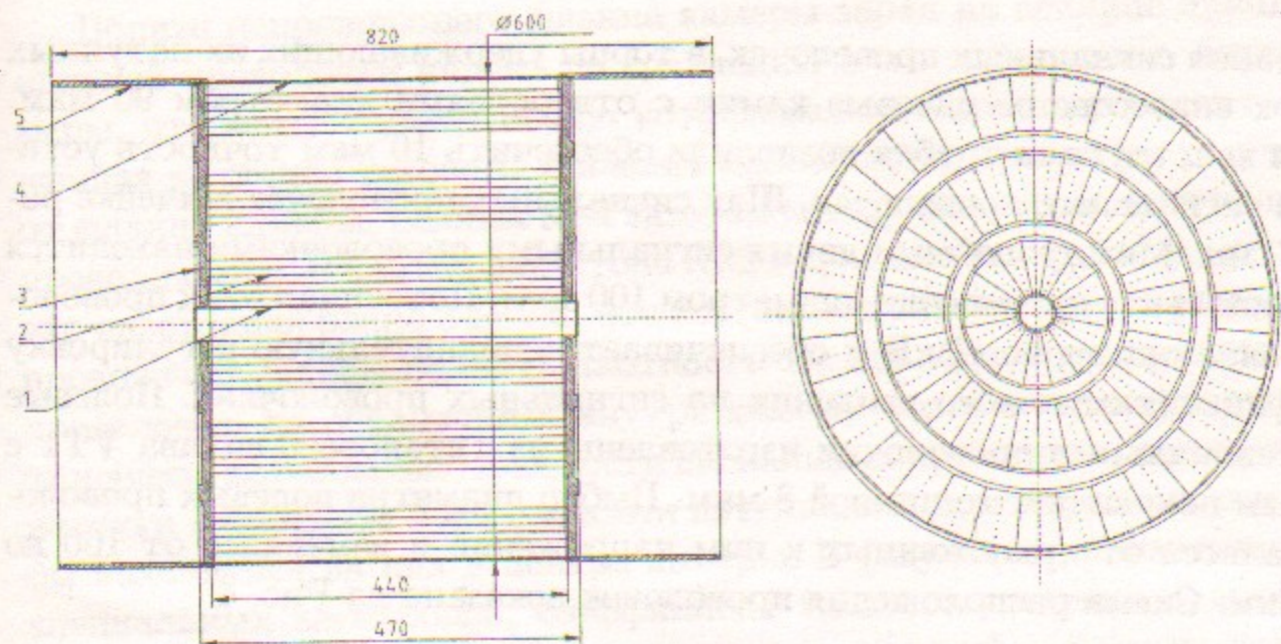


Рис. 3: Схема дрейфовой камеры: 1 – герметизирующая трубка; 2 – проволочки; 3 – фланец; 4 – обечайка; 5 – кольца для поддержки кабелей.

Таблица 1: Расположение сигнальных проволочек в дрейфовой камере.

Суперслой	1	2	3
Число ячеек	16	32	32
Число проволочек в ячейке	6	7	6
Радиус (мм), на котором находится первая сигнальная проволочка	25	115	225
Радиус (мм), на котором находится последняя сигнальная проволочка	90	195	295

2.2 Организация ячеек камеры

Камера содержит 80 ячеек струйного типа объединенных в 3 суперслоя с общим числом сигнальных проволочек 512. В Таблице 1 приведена информация о расположении проволочек в суперслоях. Сигнальные проволочки диаметром 15 мкм изготовлены из W-Re сплава с золотым покрытием. Они имеют сопротивление 1.4×10^3 Ом/м и находятся под нулевым потенциалом - заземлены через входные сопротивления усилителей. Расстояние между точками крепления сигнальных проволочек в удерживающих их латунных трубках составляет 460 мм, а длина чувствительной области проволочек внутри камеры равна 440 мм. Для точного позицио-

нирования сигнальных проволочек, в торцы удерживающих их латунных трубок впрессованы часовые камни с отверстиями диаметром 90 мкм. Такая конструкция трубок позволила обеспечить 10 мкм точность установки сигнальных проволочек. Шаг сигнальных проволочек в ячейке равен 10 мм. Между любыми двумя сигнальными проволочками находится потенциальная проволочка диаметром 100 мкм. Потенциал этих проволочек равен примерно -1 кВ и обеспечивает дополнительную регулировку коэффициента газового усиления на сигнальных проволочках. Полевые и потенциальные проволочки изготовлены из титанового сплава VT1 с медным покрытием толщиной 8 мкм. Выбор диаметра полевых проволочек зависел от приложенных к ним напряжений и изменялся от 100 до 300 мкм. Схема расположения проволочек показана на Рис. 4.

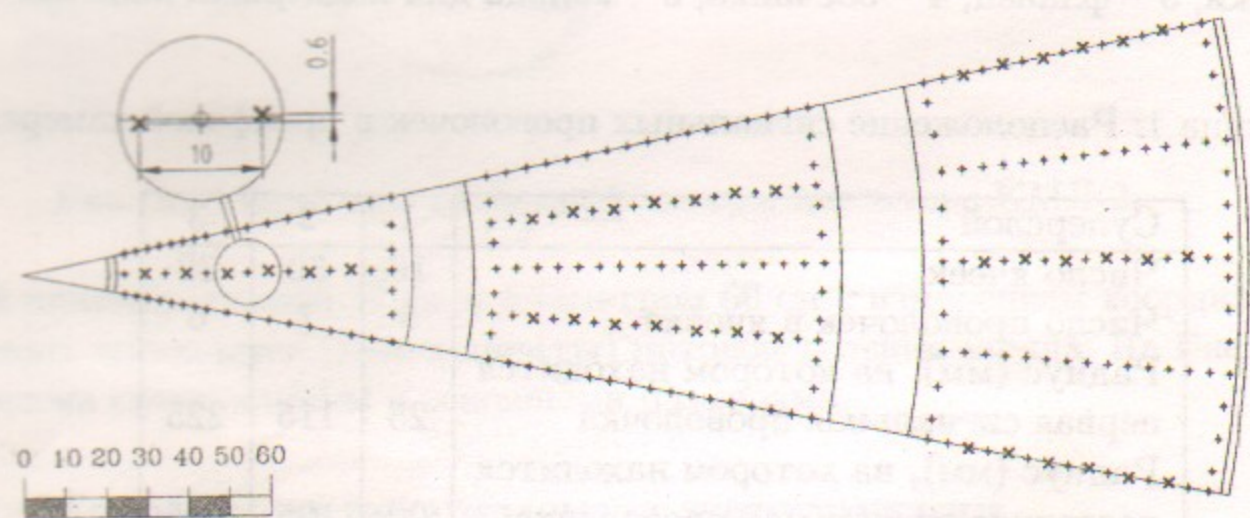


Рис. 4: Схема размещения проволочек в 1/16 части камеры, сигнальные проволочки отмечены крестиком.

В камерах с ячейками струйного типа сигнальные проволочки внутри ячейки лежат в одной плоскости, и зеркальная симметрия не позволяет определить с какой стороны от плоскости проволочек прошел трек — так называемая “лево-правая” неопределенность. Для ее устранения сигнальные проволочки раздвинуты на ± 300 мкм, как показано на Рис. 4. В разделе 4.3 поясняется, как такая раздвижка позволяет определить с какой стороны от плоскости проволочек прошла частица, без привлечения информации из других ячеек камеры.

Вблизи непроводящего фланца камеры заряд на единице длины сигнальной проволочки падает по сравнению с его значением в центре камеры, что ведет к уменьшению коэффициента газового усиления. Пониженная величина газового усиления наблюдается вплоть до расстояний от фланца камеры, равных 3÷4 зазорам между сигнальными и полевыми проволочками. В камере детектора КМД-2, в зависимости от номера слоя, это расстояние равно 3÷8 см, что составляет значительную долю длины проволочки. Чтобы поднять плотность заряда вблизи краев сигнальных проволочек, на обращенных внутрь камеры поверхностях фланцев внутри ячеек, параллельно плоскости сигнальных проволочек натянуты проволочки диаметром 1 мм с такими потенциалами, которые должны были бы находиться на них в центре камеры. В результате применения этих специальных электродов, коэффициент газового усиления в дрейфовой камере остается неизменным вплоть до расстояний ~ 5 мм до фланцев.

Распределение полей в ячейках третьего слоя искажается вследствие близости непроводящей внешней обечайки камеры. Для улучшения однородности поля и выравнивания коэффициента газового усиления внешних проволочек по отношению к проволочкам в глубине камеры, на внешнюю сторону обечайки, с помощью проводящего клея прикреплен медная фольга, на которую подается потенциал -3.5 кВ. На этот же высоковольтный экран стекают ионы, которые продиффундировали мимо полевых проволочек и попали на внутреннюю сторону обечайки. Поверх высоковольтного экрана расположен земляной экран, выполненный из односторонне фольгированного стеклотекстолита. Толщина стеклотекстолита 130 мкм, толщина фольги 17 мкм.

2.3 Газовая смесь

Камера продувается смешиваемой “в потоке” газовой смесью Ar:изобутан в пропорции 80:20. Скорость продувки составляет 10 л/час, что эквивалентно смене одного объема за 12 часов. В рабочем дрейфовом поле напряженностью 1.1 кВ/см скорость дрейфа электронов в этой смеси оказывается насыщенной — она слабо зависит от напряженности электрического поля в достаточно широком диапазоне его значений. Величины скорости дрейфа и угла Лоренца определяются в процессе реконструкции событий минимизацией импульсного разрешения и составляют примерно 4.6 см/мксек и 30° соответственно. Газовое усиление составляет примерно 10^5 .

2.4 Некоторые характеристики материалов, примененных в конструкции камеры

Для решения многих физических задач важно знать количество вещества на пути частицы. В Таблице 2 приведены плотности и радиационные длины материалов конструкции камеры, которые были использованы при расчете количества вещества на пути частицы. Для полноты отметим, что вакуумная трубка в месте встречи пучков выполнена из бериллия толщиной 0.77 мм. Количество вещества на пути частицы для различных элементов конструкции камеры при нормальном угле падения приведены в Таблице 3. Полное количество вещества на пути частицы, пересекающей камеру в радиальном направлении, составляет 0.62 г/см^2 или $0.017 X_0$.

Таблица 2: Характеристики материалов, применяемых в конструкции камеры.

Материал	Плотность, г/см^3 ($t=20^\circ\text{C}$)	Радиационная длина, г/см^2
Be	1.85	65.19
Лавсан	1.39	39.95
СТЭФ	1.7	33.0
Ti	4.54	16.17
Cu	8.96	12.86
W	19.3	6.76
Полевые проволочки	5.74	14.58
Ag	1.91×10^{-3}	19.55
Изобутан	2.86×10^{-3}	45.2
Ag:изобутан 80:20	2.1×10^{-3}	23.15

3 Аналоговая и цифровая электроника съема сигналов с камеры

Импульсы с сигнальных проволочек передаются трехметровыми коаксиальными кабелями с волновым сопротивлением 75 Ом к усилителям, расположенным в крейтах на яре детектора. Усиленные сигналы через 13-метровые витые пары поступают в оцифровывающие блоки Т2А, вы-

Таблица 3: Полное количество вещества на пути частицы в отдельных элементах конструкции камеры при нормальном угле падения. Отмеченные звездочкой данные получены на основе взвешивания соответствующих элементов конструкции.

Элемент конструкции	Толщина, см	Количество вещества	
		г/см^2	X_0
Вакуумная трубка (Be)	0.077	0.142*	2.19×10^{-3}
Герметизирующая трубка (лавсан)	0.014	0.0215*	4.87×10^{-4}
Фланцы и накладки (СТЭФ)	1.4	2.15*	0.072
Обечайка (СТЭФ)	0.2	0.36*	0.010
Земляной экран	0.015	0.037	5.2×10^{-4}
Кольца поддержки кабелей (СТЭФ)	0.57	0.90*	0.027
Газовая смесь (Ag:изобутан 80:20)	28.5	0.060	2.59×10^{-3}
Проволочки		0.036	0.002

полненные в стандарте "КЛЮКВА". Каждый блок обслуживает 4 проволочки. Схема электроники одной сигнальной проволочки представлена на Рис. 5.

3.1 Аналоговые усилители сигналов с проволочек

Применяемый предусилитель предназначен для усиления сигналов отрицательной полярности от источников с токовым выходом.

Усилитель выполнен по гибридной технологии из стандартных элементов на стеклотекстолитовой подложке размером $40 \times 12 \times 3 \text{ мм}^3$ с односторонним расположением выводов. Усилитель имеет парафазный выход для работы на 100-омную линию.

На входе предусилителя стоит каскад с общей базой. Сигнал с проволочки имеет токовый характер и, поскольку усиление по току каскада с ОБ меньше единицы, следующей ступенью является токовый усилитель, содержащий четыре каскада с общим коллектором.

Для защиты от пробоя любой полярности, на входе первого каскада помещены два диода, включенных в противоположных направлениях. Для согласования с волновым сопротивлением передающего кабеля, последовательно с входным сопротивлением усилителя включены два сопротивления по 25 Ом .

Приведенный ко входу собственный шум усилителя составляет

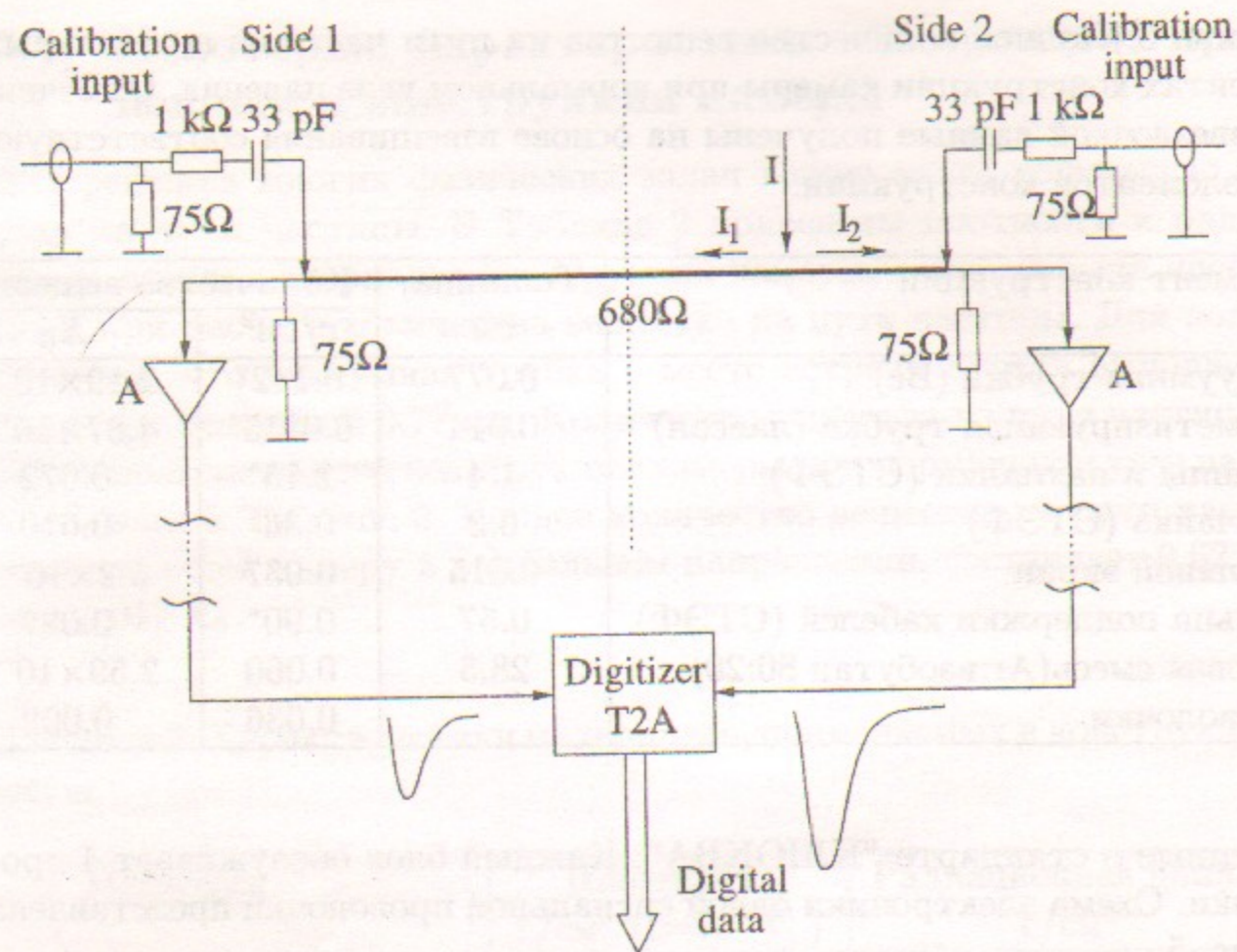


Рис. 5: Схема электроники проволочки.

$5000 e^-$. Кабель длиной 3 м увеличивает шум еще на $6000 e^-$. Схема аналогового предусилителя сигналов с дрейфовой камеры приведена на Рис. 6, а его основные характеристики в Таблице 4.

3.2 Описание платы T2A

Для того, чтобы при скорости дрейфа в камере около 5 см/мкс точность измерения времени дрейфа не оказывала определяющего влияния на точность измерения координаты, его надо измерять с точностью не хуже $2 \div 2.5$ нс.

Современная элементная база позволяет проводить измерения с такой точностью методом прямого счета для чего в блоках стандарта "КЛЮК-ВА" применены счетчики, работающие на частоте 200 МГц. Чтобы получить цену канала 2.5 нс, счетчики построены по схеме, позволяющей считать полупериоды тактовой частоты.

Платы T2A, подробно описанные в [3] работают в режиме с "общим стопом". Это означает, что оцифровка времени начинается в каждом ка-

Таблица 4: Основные параметры аналогового предусилителя сигналов с дрейфовой камеры

Параметр	
Коэффициент усиления по напряжению	4.5 мВ/мкА
Длительность импульса	150 нс
Длительность фронта импульса (0.1-0.9)	10 нс
Спад импульса (0.1-0.9)	90 нс
Входное сопротивление	25 Ом
Сопротивление нагрузки	130 Ом
Шум приведенный ко входу	$5000 e^-$

нале индивидуально в момент прихода сигнала с проволочки, а заканчивается по приходу сигнала "общий стоп", который вырабатывается триггерной электроникой детектора, как показано на Рис.7.

Обслуживая четыре сигнальных проволочки камеры, каждая плата содержит четыре временных канала для измерения времен дрейфа и восемь амплитудных каналов для измерения зарядов с концов проволочек.

Парафазные сигналы с выходов предусилителей, подключенных к концам сигнальной проволочки, поступают на два дифференциальных приемника и далее на каналы оцифровки временной и амплитудной информации.

Временной канал состоит из сумматора сигналов с обоих концов проволочки, дискриминатора и измерителя времени. Работа последнего основана на счете периодов тактовой частоты 200 МГц, причем пересчетка запускается сигналом с дискриминатора. Одновременно вырабатываются сигналы управления амплитудными каналами ("ворота").

Каждый амплитудный канал состоит из линии задержки, усилителя и преобразователя заряд-цифра. Интегрирование входного сигнала происходит в течение времени действия сигнала "ворота" длительностью 300 нс. Задержка длительностью 50 нс необходима для того, чтобы сигнал "ворота" был подан на преобразователь раньше входного сигнала.

Основные характеристики временного и амплитудного каналов платы T2A приведены в Таблице 5.

3.3 Описание платы досчета

Поскольку в системе используется один генератор тактовой частоты, который никак не синхронизован с запусками отдельных каналов, то в

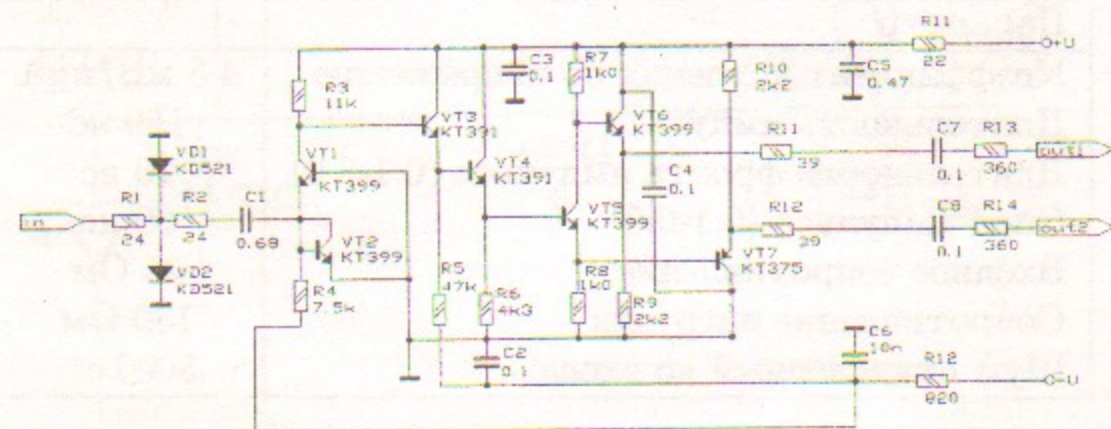


Рис. 6: Схема усилителя сигналов с проволочек.

момент начала измерения временного интервала платой Т2А возникает ошибка, равная одному отсчету. Для того, чтобы такая же ошибка не возникала в конце измерения, используется схема синхронизации, позволяющая останавливать генератор в определенной фазе и измерять интервал Δt между сигналом первичного триггера ("общий стоп"), жестко связанного с событием, и последним импульсом генератора. Поправка Δt является общей для всех каналов и учитывается при обработке.

Таким образом, плата досчета представляет собой специализированный "старт-стопный" время-цифровой преобразователь. Ее основное на-

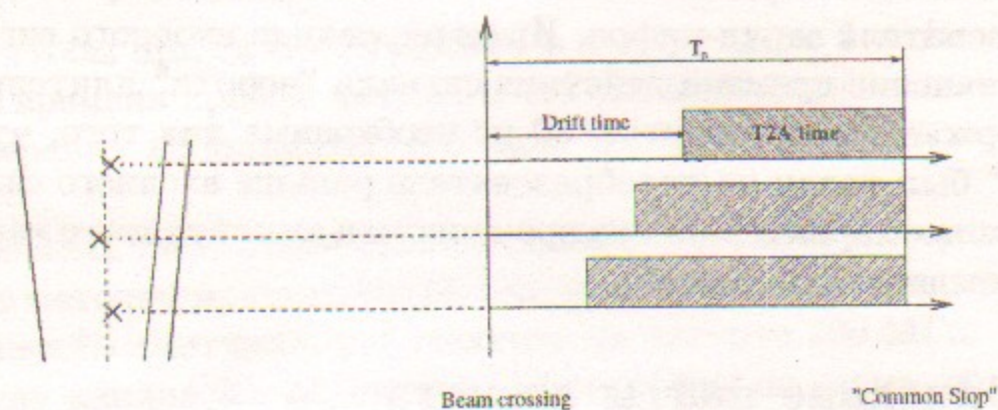


Рис. 7: Принцип измерения времен дрейфа электроникой, работающей в режиме с "общим стопом".

Таблица 5: Основные характеристики платы Т2А

Входное сопротивление	130 Ом
Максимальная входная амплитуда	± 0.5 В
Максимальный входной заряд	$3.6 \cdot 10^{-9}$ Кл
Временной канал:	
Приведенный ко входу порог срабатывания	0.1 мВ
Цена канала	2.5 нс
Число каналов оцифровки	1024
Амплитудный канал:	
Цена канала оцифровки	$1.25 \cdot 10^{-13}$ Кл
Число каналов	4096
Пьедестал	200 каналов
Время интегрирования	300 нс
Максимальное время преобразования	32 мкс

значение — измерение временной поправки Δt , возникающей в конце счета каналов, работающих в режиме с общим стопом. Преобразователь позволяет измерять время поправки с шагом 100 пс. Разница во времени между входными импульсами "старт" и "стоп" преобразуется экспандером в большую длительность выходного импульса, который управляет подачей частоты на пересчетку. Коэффициент растяжения равен 80, что при частоте заполнения 125 МГц определяет шаг измерения поправки 100 пс.

Таблица 6: Характеристики ВЦП

Входные импульсы	NIM-стандарт
Диапазон преобразования	5-25 нс
Дискрет преобразования (цена канала)	100 пс/канал
Число каналов	256
Интегральная нелинейность в диапазоне от 10 до 25 нс	± 2 канала
Дифференциальная нелинейность (в том же диапазоне)	не более 5%

4 Поиск и восстановление треков заряженных частиц

Для поиска трека в камере используется информация о номерах сработавших проволочек и измеренных ими временах дрейфа. Сначала восстанавливаются фрагменты треков, содержащиеся внутри отдельных ячеек камеры, а затем те из них, которые удовлетворяют геометрическим условиям сшивки, объединяются в один трек. Поскольку неоднородность магнитного поля в объеме дрейфовой камеры не превышает 1÷2 %, трек аппроксимируется окружностью, параметры которой определяют импульс, углы вылета и знак соответствующей заряженной частицы.

Методики определения времен дрейфа, связи между временами дрейфа и координатами точек и основные принципы работы алгоритмов поиска и восстановления параметров треков изменялись по мере понимания особенностей работы камеры. Ниже описано их состояние на июль 1999 года.

4.1 Определение времен дрейфа

Измеренные платами T2A временные промежутки пересчитываются во времена дрейфа согласно формулы

$$t_{drift}^i = (T_0 - t_0^{run} - t_0^i) - t_{T2A}^i + \Delta t_{досчет},$$

где t_{drift}^i - время дрейфа в наносекундах, T_0 - временной промежуток между моментом столкновения пучков в накопителе и сигналом "общий стоп" — в первом приближении $T_0 = 1100$ нс; t_0^{run} - поправка к величине T_0 , определяемая OFFLINE при калибровке по событиям; t_0^i - индивидуальная временная задержка каждой сигнальной проволочки; t_{T2A}^i - измеренное время, которое равно числу отсчетов канала платы T2A, умноженному на 2.5 нс; $\Delta t_{досчет}$ - время "досчета", определенное платой с аналогичным названием (см. пункт 3.3), оно равно числу отсчетов платы, умноженному на 0.1 нс.

Неопределенность в измеренном времени дрейфа связана как со статистическими эффектами, примерами которых являются статистическая природа рождения кластеров ионизации вдоль трека и процесс диффузии начальной ионизации, так и систематическими сдвигами времен задержек индивидуальных каналов t_0^i . Вклад последних в точность измерения

координаты можно существенно уменьшить, используя для калибровки зарегистрированные события.

Отличные от нуля величины t_0^i приводят, фактически, к переопределению T_0 для каждого временного канала: $T_0^i = T_0 - t_0^i$. Для определения t_0^i строятся распределения разниц времен $T_0 - t_{T2A}^i$, измеренных каждой проволочкой, которые затем аппроксимируются функцией вида

$$f(t) = \frac{A}{1 + \exp\left(\frac{T_0 - t}{\sigma_t}\right)} + A_0. \quad (1)$$

Для анализа отбираются только события $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ рассеяния, т.к. для них поправка на время пролета частицы через дрейфовую камеру не превышает 1 нс. Типичный пример аппроксимации для одной из проволочек камеры приведен на Рис. 8. Следует заметить, что определен-

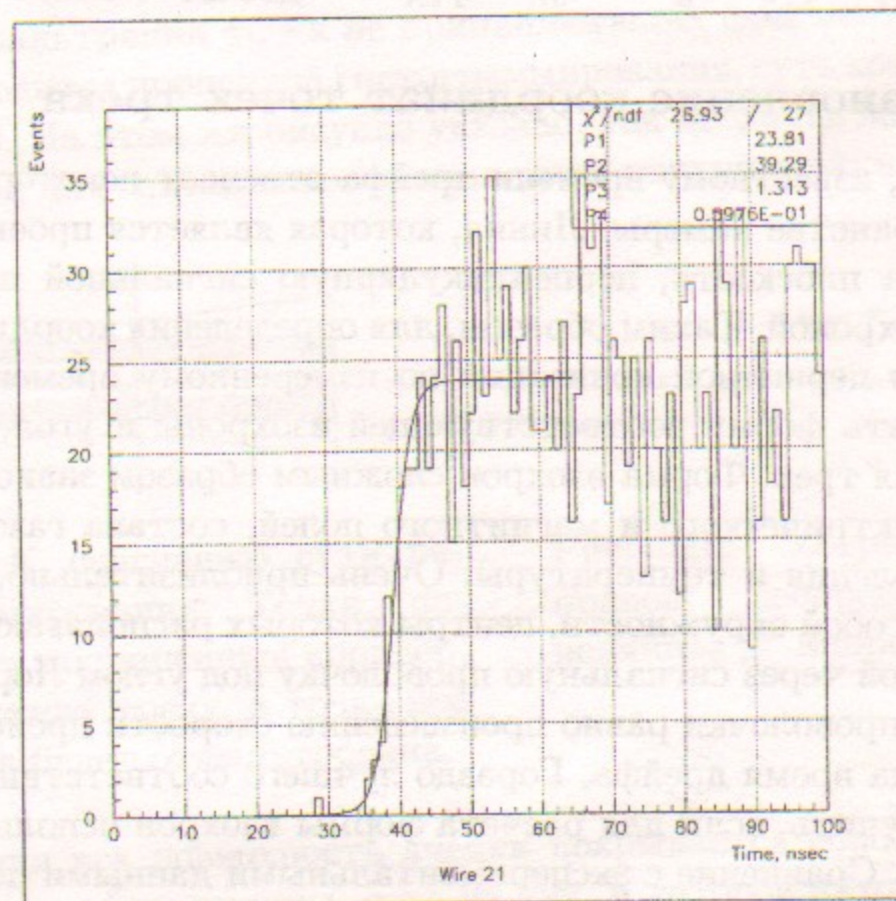


Рис. 8: Определение T_0 по событиям $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ рассеяния для проволочки 21.

ная таким образом величина t_0^i соответствует положению точки перегиба ступенчатой функции, описывающей вклад самых больших зарегистрированных в каждом канале времен. Найденные таким образом значения

t_0^i необходимо поправить на величину, порядок которой определяется кластерным эффектом

$$\frac{\Delta l}{2v} = \frac{1}{29 \frac{\text{кПаСТ}}{\text{СМ}} \cdot 2 \cdot 4.7 \frac{\text{СМ}}{\text{МКС}}} \sim 4 \text{ нс},$$

где Δl – расстояние между кластерами, а v – скорость дрейфа. Более точно эта поправка определялась из зависимости импульсного разрешения от дополнительного временного сдвига и оказалась равной 4.5 нс.

Значение поправки t_0^{run} определялась из аппроксимации функцией, аналогичной (1) суммарного по всем проволочкам камеры распределения величин $T_0 - t_{T2A}^i$.

Таким образом, окончательное выражение для времен дрейфа выглядит как:

$$t_{drift}^i = (T_0 - t_0^{run} - t_0^i) - t_{T2A}^i + \Delta t_{\text{досчет}} + 4.5 \text{ нс}. \quad (2)$$

4.2 Восстановление координат точек трека

Вообще говоря, известному времени дрейфа отвечает некоторая поверхность в пространстве камеры. Линия, которая является проекцией этой поверхности на плоскость, перпендикулярную сигнальной проволочке, называется изохроной. Таким образом, для определения координаты точки образования первичной ионизации по измеренному времени дрейфа, необходимо знать форму соответствующей изохроны и угол, под которым ее касается трек. Форма изохрон сложным образом зависит от распределения электрического и магнитного полей, состава газовой смеси камеры, ее давления и температуры. Очень приблизительно, изохроны представляют собой окружности, центры которых располагаются на линии, проведенной через сигнальную проволочку под углом Лоренца, а их расстояние от проволочки равно произведению скорости дрейфа в смеси, умноженному на время дрейфа. Гораздо лучшего соответствия реальности можно получить, если для расчета формы изохрон используется пакет Garfield [4]. Сравнение с экспериментальными данными показывает, что точность таких расчетов параметров газовой смеси оказывается не хуже нескольких процентов.

При расчете изохрон для дрейфовой камеры детектора КМД-2 были учтены ее конфигурация, величины напряжений на потенциальных и полевых проволочках, положения и потенциалы экранов. Одним из плохо контролируемых параметров, от которого зависит форма изохрон, является состав газовой смеси. При измерении ее характеристик на входе и

выходе дрейфовой камеры с помощью специальной пропорциональной камеры [5] была замечена значительная разница в длине поглощения электронов. Амплитуда сигнала в выходящей из дрейфовой камеры смеси сильно подавлена, что можно объяснить диффузией воздуха внутрь объема дрейфовой камеры. Поэтому, при расчете формы изохрон воздух рассматривался в качестве еще одной добавки к газовой смеси. Используя импульсное разрешение в качестве критерия и варьируя процентное содержание всех трех компонент смеси было найдено, что лучшему разрешению соответствует смесь с содержанием Ar, iC_4H_{10} и воздуха равным, соответственно, 74:21:5.

4.3 Поиск фрагментов трека

Фрагментом называется участок траектории частицы, лежащий в пределах одной ячейки и содержащий не менее трех точек.

Для фильтрации точек не принадлежащих фрагменту, в таких ячейках проводится процедура гистограммирования, суть которой поясняется на Рис. 9. На этом же рисунке указано, как вводится локальная система координат для описания положения точек внутри ячейки. При гистограм-

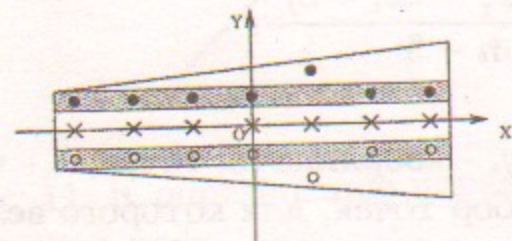


Рис. 9: К пояснению сути гистограммирования. Точки, попавшие в закрашенный коридор, принадлежат треку, а точка вне коридора будет отфильтрована.

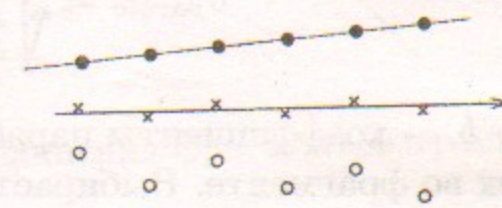


Рис. 10: Устранение "лево-правой" неопределенности по величине χ^2 аппроксимации.

мировании вся поверхность ячейки покрывается полосками постепенно уменьшающейся ширины, и та из них, в которой находится максимальное число точек, является базовой для определения геометрических параметров фрагмента. Конечная (минимальная) ширина полоски равна 2.5 мм. Предусмотрена возможность изгиба полосок в соответствии с кривизной трека. Поскольку к этому моменту еще не выяснено, справа или слева от плоскости сигнальных проволочек находится каждая точка, в процедуре гистограммирования на равных правах участвуют как "пра-

вые" так и "левые" их координаты. Результатом гистограммирования является формирование двух наборов координат точек, ассоциируемых с фрагментом трека. Координаты точек определяются как $y^i = v_0 \cdot t_{drift}^i$, их x-координаты равны координатам соответствующих сработавших проводочек, а скорость дрейфа полагается равной $v_0 = 4.4$ см/мксек.¹

После окончания процедуры гистограммирования, через крайние точки в ячейке проводятся две прямые линии, соответствующие "правому" и "левому" положениям фрагмента и, в качестве первого приближения при определении координат точек трека, предполагается, что углы касания с изохронами для трека равны углам касания для этой прямой. Затем через восстановленные точки проводятся параболы, определяются их углы касания с изохронами, переопределяются координаты точек трека и через них вновь проводятся параболы.

Поскольку сигнальные проводочки раздвинуты относительно оси симметрии ячейки, аппроксимации параболами "правильного" и "неправильного" фрагментов, как показано на Рис. 10, существенно различаются по величине χ^2 .

Качество аппроксимации определяется параметром

$$\sigma_{parblc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c)^2}{n-3}},$$

где a, b, c - коэффициенты параболы, x_i, y_i - координаты точек, n - число точек во фрагменте. Выбирается тот набор точек, для которого величина σ_{parblc} не превышает значения $\sigma_{parblc}^{max} = 0.085$ см. Если оба фрагмента удовлетворяют этому условию, выбирается фрагмент с большим радиусом кривизны $R = 1/(2c)$. Если оба фрагмента не удовлетворяют условию $\sigma_{parblc} < \sigma_{parblc}^{max}$, то выбирается фрагмент с меньшей σ_{parblc} .

Если точка находится на расстоянии меньшем, чем 2 мм от оси ОХ, процедура гистограммирования не может определить ее принадлежность к "левому" или "правому" множеству точек, и выбор осуществляется по критерию минимального χ^2 с подстановкой "левой" или "правой" координат такой точки.²

¹ Процесс поиска точек в ячейке реализован в программе HSTFND.

² Поиск "правильных" фрагментов осуществляется программой CELL.

4.4 Добавление к фрагменту новых точек и объединение фрагментов в трек

После формирования фрагмента производится попытка присоединения к нему точек, отброшенных на этапе гистограммирования.

Точка присоединяется к фрагменту, если ее "правое" или "левое" положение находится не далее, чем 0.085 см от аппроксимирующей фрагмент параболы. Если оба расстояния меньше этой величины, во фрагмент войдет то положение точки, расстояние до которого меньше.

После добавления новых точек, фрагмент заново аппроксимируется параболой. Отметим, что координаты восстанавливаются с учетом поправок к изохронам, рассчитанным с помощью пакета Garfield. Методика определения поправок описана в разделе 4.7.³

Объединение фрагментов в трек происходит следующим образом: сначала предпринимается попытка соединить фрагменты первого и второго суперслоев ДК, затем свободные фрагменты второго суперслоя соединя-

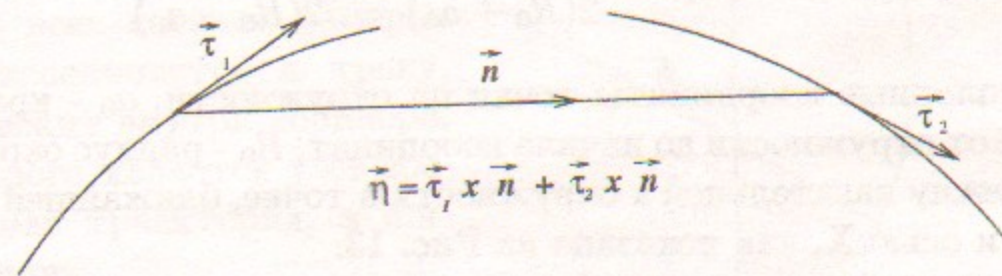


Рис. 11: К определению параметра объединения фрагментов траектории частиц в трек.

ются с фрагментами третьего суперслоя, и, наконец, делается попытка объединения свободных фрагментов первого и третьего суперслоев.

Для определения принадлежности фрагментов одному треку⁴ вычисляется параметр

$$\eta = |\vec{\tau}_1 \times \vec{n} + \vec{\tau}_2 \times \vec{n}|,$$

где \vec{n} - единичный вектор вдоль линии, соединяющей середины

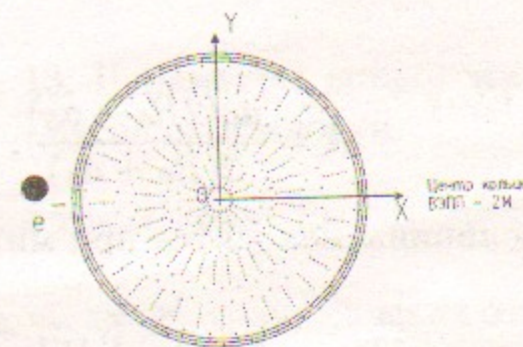


Рис. 12: Система координат дрейфовой камеры.

³ Алгоритм добавления ко фрагменту новых точек реализован в программе ATACH.

⁴ Объединение фрагментов в трек производится процедурой SEWING.

двух присоединяемых фрагментов, \vec{r}_1 и \vec{r}_2 - вектора, касательные к середине первого и второго фрагментов соответственно, как показано на Рис.11. Для фрагментов, которые являются отрезками идеальной окружности, параметр η равен нулю. Считается, что фрагменты принадлежат одному треку, если абсолютная величина η не превышает $|\eta_{max}| = 0.1$.

4.5 Определение параметров трека частицы

Аппроксимацию трека дугой окружности удобно выполнять в полярной системе координат, начало которой совпадает с центром дрейфовой камеры, а полярная ось лежит в плоскости сигнальных проволочек первой ячейки первого суперслоя и направлена к центру кольца накопителя, как показано на Рис. 12.

Уравнение окружности в полярных координатах имеет вид :

$$r \sin(\varphi - \varphi_0) = \frac{a_0(2R_0 + a_0)}{2(R_0 + a_0)} + \frac{r^2}{2(R_0 + a_0)},$$

где r, φ - полярные координаты точки на окружности, a_0 - кратчайшее расстояние от окружности до начала координат, R_0 - радиус окружности, φ_0 - угол между касательной к окружности в точке, ближайшей к началу координат и осью X, как показано на Рис. 13.

Если траектория проходит близко к началу координат ($a_0 \ll r$) и радиус окружности достаточно велик, так что величина $\varphi - \varphi_0$ мала, то уравнение окружности может быть переписано в виде:

$$r \cdot \varphi = A + B \cdot r + C \cdot r^2,$$

где

$$A = \frac{a_0(2R_0 + a_0)}{2(R_0 + a_0)}, \quad B = \varphi_0, \quad C = \frac{1}{2(R_0 + a_0)}.$$

Эти величины находятся при минимизации функционала:

$$f = \sum_{i=1}^n \frac{(r_i \varphi_i - A - B \cdot r_i - C \cdot r_i^2)^2}{\sigma_i^2},$$

где r_i, φ_i - полярные координаты точек трека, n - число точек на треке, $1/\sigma_i$ - вес точки, который определяется зависимостью координатного разрешения от времени дрейфа. Координаты центра и радиус окружности

следующим образом выражаются через параметры A, B и :

$$X_0 = \frac{1}{2C} \cos\left(\frac{\pi}{2} + B\right),$$

$$Y_0 = \frac{1}{2C} \sin\left(\frac{\pi}{2} + B\right),$$

$$R_0 = \frac{1}{2C} \sqrt{1 - 4AC}.$$

Знак заряда частицы определяется соотношением:

$$\frac{Q}{|Q|} = -\frac{R_0}{|R_0|}.$$

После проведения траектории делается попытка добавить к треку точки, не вошедшие ни в один фрагмент.⁵ Поиск таких точек ведется во всех ячейках камеры. Точка присоединяется к треку, если она лежит внутри коридора, осью которого является уже восстановленная траектория, а ширина W равна:

$$W = \left(0.1 + \frac{1.75}{L}\right) \cdot \left(1 + \frac{d}{d_0}\right),$$

где L - длина трека, d - расстояние от конца трека до присоединяемой точки, $d_0 = 1.2$ см, если присоединяемая точка находится в первом или во втором суперслое камеры и $d_0 = 6$ см, если присоединяемая точка принадлежит третьему суперслою.

Следует заметить, что добавление к короткому треку далеких от него точек может существенно деформировать восстанавливаемую траекторию, вплоть до изменения знака радиуса кривизны. Поэтому, при работе с короткими треками, добавление точек производится по одной, в то время как к длинному треку могут добавляться сразу по две точки. Если к

⁵Пересчет координат в систему ДК и определение параметров траектории частицы осуществляются в программах SEWCIR, CIRC, KRUGO, CIRCUS.

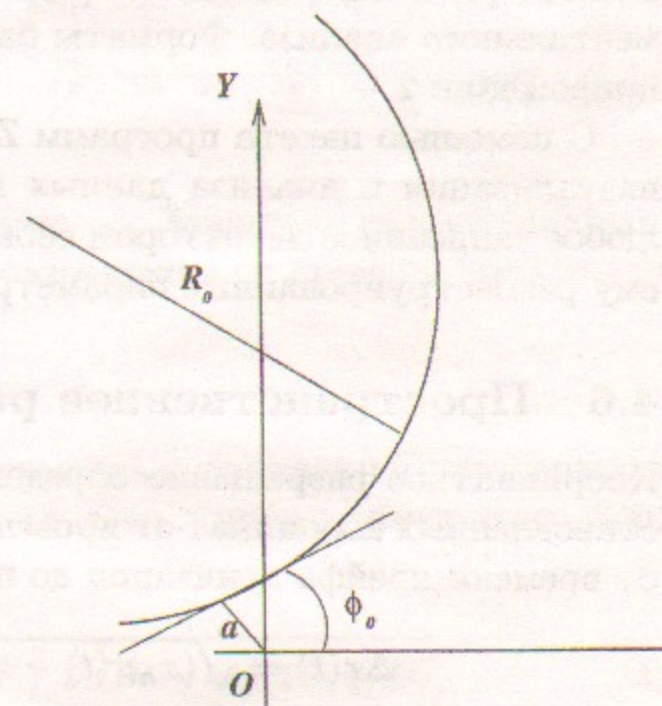


Рис. 13: Параметры аппроксимации трека дугой окружности.

треку была добавлена хотя бы одна точка, параметры траектории определяются заново.⁶

Заметим здесь, что при обработке коллинеарных событий иногда оба трека частиц можно аппроксимировать дугой одной окружности. Для этого нужно, чтобы углы вылета частиц θ и φ и абсолютная величина разности радиусов треков удовлетворяли некоторым условиям.⁷ В настоящее время аппроксимация треков дугой одной окружности проводится для всех двухтрековых событий, а условия использования полученных параметров накладываются при анализе.

Вся информация о треке частицы и составляющих его фрагментах хранится в выходном файле программы обработки данных в формате ZEBRA [6] в виде массивов (банков) данных и доступна для экспериментального анализа. Форматы банков с сырыми данными приведены в приложении 2.

С помощью пакета программ ZTREE [7], написанного для OFFLINE визуализации и анализа данных детектора КМД-2, можно нарисовать любое записанное детектором событие и прочитать все принадлежащие ему реконструированные параметры.

4.6 Пространственное разрешение камеры

Координатное разрешение определялось по дисперсии отклонений восстановленных координат от проведенной дуги окружности в зависимости от времени дрейфа ионизации до проволоочки:

$$\Delta r(t) = \sqrt{(x_{hit}(t) - x_0)^2 + (y_{hit}(t) - y_0)^2} - R, \quad (3)$$

где x_0 , y_0 и R — координаты центра и радиус восстановленной окружности, $x_{hit}(t)$ и $y_{hit}(t)$ — координаты точки на треке. С шагом 10 нс эти отклонения заносились в гистограммы и полученные распределения аппроксимировались гауссовым распределением. Вообще говоря, видимая ширина этих распределений меньше, чем истинное разрешение камеры, поскольку точки, по которым она определяется сами участвовали в восстановлении траектории. Для определения отношения видимой дисперсии к истинной в зависимости от номера слоя сигнальных проволоочек в камере, было проведено моделирование, в котором заданное координатное разрешение сравнивалось с полученными после реконструкции дис-

⁶Добавление точек к треку выполняется в программе SEWCIR.

⁷Проведение по трекам частиц дуги одной окружности после добавления дополнительных точек выполняется в программах ONE_ARC и KRUGI.

персиями отклонений. Найденные отношения $\epsilon_i = \sigma_{vis}^2 / \sigma_{def}^2$ приведены на Рис. 14.

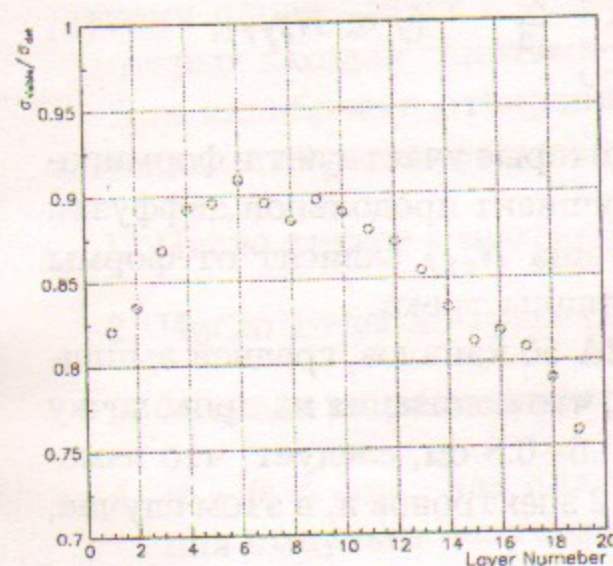


Рис. 14: Отношение видимой дисперсии к истинной в зависимости от номера слоя сигнальных проволоочек.

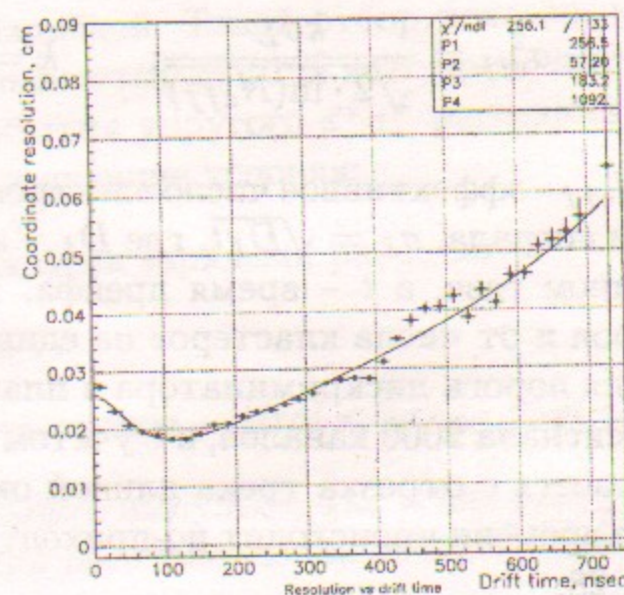


Рис. 15: Зависимость координатного разрешения от времени дрейфа.

Определенная таким образом зависимость координатного разрешения от времени дрейфа показана на Рис. 15. Она аппроксимировалась формулой вида:

$$\sigma(t) = \sqrt{A^2 \sin^2(\arctg(B/t)) + C^2 \cdot v \cdot t / (1 - t/D)}, \quad (4)$$

где первый член описывает кластерный эффект, а второй — диффузию. Коэффициент D введен для учета поглощения электронов в газе. Аппроксимация данных на Рис. 15 дала следующие значения параметров, входящих в выражение (4):

$$A = 256.5 \text{ мкм}; \quad B = 57.2 \text{ нсек};$$

$$C = 183.2 \sqrt{\text{мкм}}; \quad D = 1092 \text{ нсек}.$$

Согласно работам [8], [9], координатное разрешение σ_{dif} при установке порога срабатывания дискриминатора на приход первых j электронов

составляет

$$\sigma_{dif}^2 = \frac{k\sigma_L}{\sqrt{2 \cdot \ln(N_{eff})}}; \quad k = \sqrt{\sum_{n=j}^{N_{eff}} \frac{1}{n^2}} \quad (j \ll N_{eff}), \quad (5)$$

где N_{eff} - эффективное число электронов, которые участвуют в формировании сигнала, $\sigma_L = \sqrt{D_L t}$, где D_L - коэффициент продольной диффузии в данном газе, а t - время дрейфа. Величина N_{eff} зависит от формы изохрон и от числа кластеров на единице длины трека.

Для порога дискриминатора в плате Т2А 50 каналов, средней амплитуде сигнала 2000 каналов, и с учетом того, что ионизация на проволочку собирается с отрезка трека длиной около 0.6÷0.8 см, следует, что измерение времени происходит по-приходу 1.5÷2 электронов и, в этом случае, $k \simeq 1.28$.

Из-за поглощения N_{eff} уменьшается как $\exp(-t/\tau)$, что в результате приводит к следующему эффективному вкладу диффузии в координатное разрешение:

$$\sigma'_{dif} = \sigma_{dif} / \sqrt{1 - t/(\tau \ln(N_{eff}))}.$$

С учетом приведенных выше значений параметров кривой (4), отсюда были определены величины $N_{eff} = 8$ и $\sigma_L \sim 250$ мкм/ $\sqrt{\text{см}}$. Последнее значение характерно для смесей аргона с изобутаном [10].

4.7 Поправки к расчетным изохронам

В связи с тем, что форма изохрон зависит от плохо контролируемых параметров (примесь воздуха, температура и давление смеси), расчетные изохроны нуждаются в поправках, которые убирают систематические сдвиги точек в каждом слое камеры [11].

Основная идея калибровки заключается в том, что поскольку энергия пучков известна, полярный угол вылета трека однозначно определяет величину поперечного импульса частиц для событий упругого электрон-позитронного рассеяния. Таким образом, если в каждом событии "подвинуть" точки так, чтобы они легли на окружность, радиус которой соответствует вычисленному поперечному импульсу

$$R = \frac{p \cdot \sin(\theta)}{0.3H},$$

то средняя величина таких сдвигов и будет поправкой к изохроне.

Чтобы при калибровке не внести лишнюю систематическую ошибку, исключались проволочки с которых либо вообще нет сигнала, либо в соответствующих платах Т2А "выпадают" некоторые биты в регистрах, и время определяется с большой ошибкой. Такой отбор показал, что в некоторых заходах "плохими" оказываются до 10 % всех проволочек.

Для калибровки отбирались события упругого e^+e^- рассеяния. Для подавления фона накладывались следующие условия:

1. Число треков с противоположными зарядами равно двум
2. Число точек на треке больше 7
3. Условия на расколлинеарность треков — $|\Delta\phi| < 3\sigma_{\Delta\phi}$, $|\Delta\theta| < 3\sigma_{\Delta\theta}$
4. $|p - \bar{p}| < 3\sigma_p$ - как для отдельного импульса, так и для распределения импульса полученного при восстановлении обоих треков одной дугой
5. минимальное расстояние от треков до оси пучков не превышает 1.5 мм.

Для каждого слоя и каждой стороны ячейки, отдельно для положительных и отрицательных частиц, строились зависимости от времени дрейфа угла Φ касания трека с изохроной.

Систематические сдвиги определялись на основе двумерных распределений отклонений точек от восстановленных треков в зависимости от времени дрейфа с последующей интерполяцией кубическими сплайнами с использованием обобщенного критерия гладкости [12].

Отметим здесь, что при этом определяются смещения точек вдоль направления нормали к изохроне. При этом, как показано на Рис. 16,

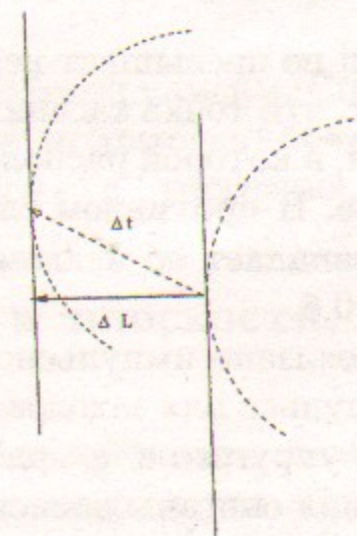


Рис. 16: Определение поправок к координатам точек. Δl - при смещении вдоль направления, перпендикулярного изохроне, Δt - поправка ко времени дрейфа.

точка перемещается на расстояние ΔL и оказывается на другой изохроне. Однако, это поправленное положение не соответствует координатам точки, в которой касательная к новой изохроне параллельна треку. Чтобы избежать этой проблемы, сдвиговая поправка переводится в поправку к измеренному времени дрейфа — то есть точка трека переносится на новую изохрону, смещенную на время Δt , а касательная к изохроне, как видно из Рис. 16, остается параллельной треку. Зависимости полученных таким образом величин Δt от измеренного времени дрейфа также интерполируются сплайнами.

Таким образом, результатом калибровок являются зависимости $\Phi^\pm(t)$ и $\Delta t^\pm(t)$ в каждом слое с обеих сторон ячейки, отдельно для положительных и отрицательных частиц. В процессе реконструкции точек, в случае, когда углы касания треков отличаются от соответствующих углов для электронов, поправка ко времени дрейфа вычисляется с помощью линейной интерполяции:

$$\Delta t = \frac{\Delta t^+(t) + \Delta t^-(t)}{2} + (\Delta t^+(t) - \Delta t^-(t)) \cdot f(x), \quad (6)$$

где

$$x = \left(\frac{\Phi - (\Phi^+(t) + \Phi^-(t))/2}{\Phi^+(t) - \Phi^-(t)} \right), \quad \text{и} \quad f(x) = x,$$

если величина $|x|$ не превышает некоторого граничного значения K . Это условие означает, что точка касания трека с изохроной лежит достаточно близко к области, в которой расположены точки касания треков электронов и позитронов. В противном случае, когда $|x| > K$, $f(x) = \pm K$, где знак перед K совпадает со знаком x . Величина коэффициента K была выбрана равной 0.6.

На Рис. 17 показано импульсное разрешение камеры в зависимости от величины импульса для заходов из экспериментов LOW-96 и HIGH-97 [13] для событий упругого e^+e^- рассеяния.

Эти разрешения описаны зависимостью

$$\frac{\sigma_p}{p} = \sqrt{A^2 + B^2(p[\text{ГэВ}/c])^2} \%,$$

где коэффициенты A и B равны:

$$A = 0.69 \pm 0.03; \quad B = 6.37 \pm 0.01 \quad \text{для отдельного импульса,}$$

$$A = 0.59 \pm 0.03; \quad B = 5.18 \pm 0.01 \quad \text{для среднего импульса.}$$

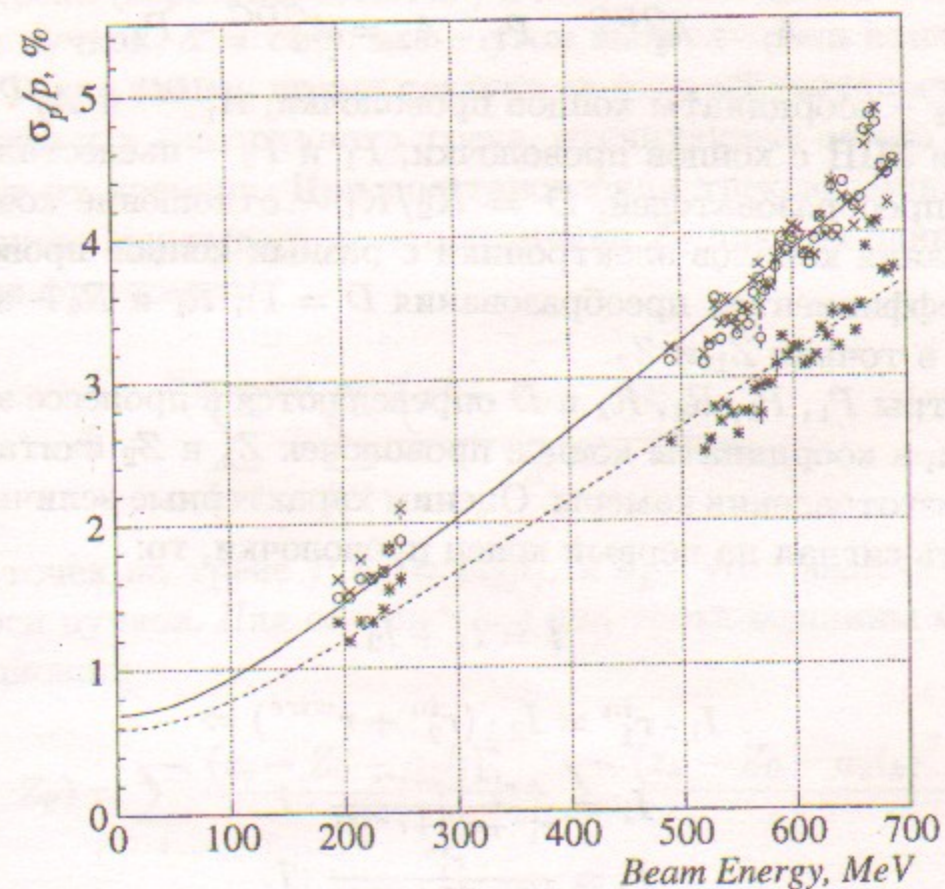


Рис. 17: Импульсное разрешение дрейфовой камеры. Сплошная кривая — разрешение для отдельных импульсов, штрихованная кривая — для суммы импульсов в событиях упругого e^+e^- рассеяния.

4.8 Реконструкция точек в плоскости, содержащей ось пучков

Координата вдоль проволочки в дрейфовой камере детектора КМД-2 измеряется методом деления заряда — координата образования лавины определяется соотношением величин зарядов, протекших через концы проволочки с высоким сопротивлением. Амплитуда сигнала, измеренная с одного конца проволочки, обратно пропорциональна сопротивлению, равному сумме входного сопротивления усилителей и сопротивления участков проволочки, по которым протекал ток. Z -координата в камере определяется согласно выражению:

$$z = Z_1 + \frac{R - R_1}{R_2 - R_1} (Z_2 - Z_1), \quad (7)$$

$$R = \frac{A_1 - DA_2}{A_1 + DA_2},$$

$$A_1 = A_1^{CDC} - P_1, \quad A_2 = A_2^{CDC} - P_2,$$

где Z_1 и Z_2 – координаты концов проволоочки, A_1^{CDC} и A_2^{CDC} – заряды, измеренные ЗЦП с концов проволоочки, P_1 и P_2 – пьедесталы зарядовоцифровых преобразователей, $D = K_2/K_1$ – отношение коэффициентов преобразования каналов электроники с разных концов проволоочки (при равных коэффициентах преобразования $D = 1$), R_1 и R_2 – значения параметра R в точках Z_1 и Z_2 .

Параметры P_1 , P_2 , R_1 , R_2 и D определяются в процессе электронных калибровок, а координаты концов проволоочек Z_1 и Z_2 считаются заданными при изготовлении камеры. Оценим характерные величины R_1 и R_2 . Если подать сигнал на первый конец проволоочки, то:

$$I = I_1 + I_2,$$

$$I_1 \cdot r_1^{in} = I_2 \cdot (r_2^{in} + r^{wire}) \Rightarrow$$

$$I_1 = \frac{r_2^{in} + r^{wire}}{r_1^{in} + r_2^{in} + r^{wire}} \cdot I$$

$$I_2 = \frac{r_1^{in}}{r_1^{in} + r_2^{in} + r^{wire}} \cdot I.$$

Подставляя $r_1^{in} = r_2^{in} = 75$ Ом и $r^{wire} = 680$ Ом, получаем $R_1 = 0.82$ и, аналогично, для второго конца – $R_2 = -0.82$. Длина проволоочек равна 460 мм, (чувствительная длина на 20 мм меньше из-за толщины фланцев) поэтому $Z_1 = -230$ мм и $Z_2 = 230$ мм. Из-за прогиба фланцев под нагрузкой натяжения проволоочек, их длина убывает по мере приближения к центру камеры, и внутренние проволоочки оказываются на 6 мм короче внешних. Дополнительный разброс в 1-2 мм связан с неопределенностью места контакта проволоочки с удерживающими ее латунными трубками.

4.9 Алгоритм восстановления треков в плоскости, содержащей ось пучков

При восстановлении трека в плоскости, содержащей ось пучков, используются только точки ассоциированные с треком в процессе реконструкции события в поперечной плоскости. Дополнительная фильтрация случайных и выбитых в результате наводок точек производится с помощью процедуры, описанной в разделе 4.10. Координату z точки на треке можно записать в виде

$$z = Z_0 + a \cdot l,$$

где Z_0 – координата начала трека или вершины события, l – отсчитанная от начала трека (вершины события) длина траектории в плоскости, поперечной оси пучков, $a = \text{ctg}\theta$, и θ – угол вылета трека относительно оси пучков. Такая запись прямо следует из того обстоятельства, что длина траектории и z – координата трека, отсчитанные от его начала, линейно зависят от времени. При восстановлении треков, принадлежащих одной вершине, учитывается, что величина Z_0 для них одинакова и минимизируется функционал

$$\Phi = \sum_{k=1}^{N_{\text{треков}}} \sum_{i=1}^{n_j} \frac{(z_i^j - Z_0 - a_j l_i^j)^2}{\sigma_i^{j2}},$$

где n_j – число точек на треке j ; $a_j = \text{ctg}\theta_j$, и θ_j – угол вылета трека j относительно оси пучков. Для содержащей два трека вершины минимизируется функционал:

$$\Phi(a_1, a_2, Z_0) = \sum_i \frac{(z_i - Z_0 - a_1 l_i)^2}{\sigma_i^2} + \sum_k \frac{(z_k - Z_0 - a_2 l_k)^2}{\sigma_k^2},$$

и соответствующая система уравнений выглядит следующим образом:

$$H \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ Z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_i \frac{l_i^2}{\sigma_i^2} & 0 & \sum_i \frac{l_i}{\sigma_i^2} \\ 0 & \sum_k \frac{l_k^2}{\sigma_k^2} & \sum_k \frac{l_k}{\sigma_k^2} \\ \sum_i \frac{l_i}{\sigma_i^2} & \sum_k \frac{l_k}{\sigma_k^2} & \sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} + \sum_k \frac{1}{\sigma_k^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ Z_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_i \frac{z_i l_i}{\sigma_i^2} \\ \sum_k \frac{z_k l_k}{\sigma_k^2} \\ \sum_i \frac{z_i}{\sigma_i^2} + \sum_k \frac{z_k}{\sigma_k^2} \end{pmatrix}$$

В результате минимизации определяются Z – координата вершины и величины $\text{ctg}\theta_{1,2}$ для углов вылета треков относительно оси пучков. Ошибки параметров a_1 , a_2 и Z_0 определяются как:

$$\sigma_{a_1}^2 = H_{11}^{-1}, \quad \sigma_{a_2}^2 = H_{22}^{-1}, \quad \sigma_{Z_0}^2 = H_{33}^{-1},$$

а их корреляции равны

$$\overline{\sigma_{Z_0} \sigma_{a_1}} = H_{13}^{-1} = H_{31}^{-1}, \quad \overline{\sigma_{Z_0} \sigma_{a_2}} = H_{23}^{-1} = H_{32}^{-1}, \quad \overline{\sigma_{a_2} \sigma_{a_1}} = H_{12}^{-1} = H_{21}^{-1}.$$

4.10 Фильтрация шумовых срабатываний проволочек

Из-за наводок и сбоев при оцифровке и считывании информации, точки, объединенные в трек в процессе реконструкции в $R-\phi$ - плоскости, могут отстоять от него слишком далеко в проекции на плоскость, содержащую ось пучков. Для их фильтрации используется описанный ниже алгоритм, который работает с параметрами l_i , z_i и σ_i - длиной траектории до точки i , ее продольной координатой и точностью ее измерения, которая, вообще говоря, зависит от амплитуд сигналов на концах сигнальной проволочки.

Через пару точек, расположенных на максимальном расстоянии друг от друга, проводится прямая линия и проверяется, сколько оставшихся точек ей принадлежат. Считается, что точка принадлежит проведенной прямой, если она отстоит от нее не более, чем на 3σ . Если более 90% точек принадлежат проведенной прямой линии, вызывается процедура минимизации функционала Φ для более точного определения ее параметров. При минимизации используются только те точки, которые принадлежат проведенной прямой линии. Если количество точек на прямой не превысило вышеозначенный порог, то одна из опорных точек заменяется на ближайшую к ней точку трека и процедура повторяется. Если после определенного количества шагов, количество точек так и не превысило порога, происходит выход из цикла в процедуру минимизации с параметрами прямой, которой принадлежит наибольшее число точек.

На последнем этапе проверяется принадлежность всех точек лучшей прямой линии, параметры которой определены минимизацией функционала Φ и, если оказывается, что к ней присоединяются дополнительные точки, процедура минимизации повторяется.

4.11 Влияние неточностей калибровок на систематическую ошибку восстановления z - координаты

Ошибки в определении калибровочных констант в процессе электронных калибровок возникают из-за наводок и статистического разброса измерений и приводят к систематическим смещениям измеряемых координат точек трека. Используя соотношение (7), несложно показать, что систематические смещения Δz составляют $2 \div 3$ мм для ошибок параметров $R_{1,2}$ и $Z_{1,2} \sim 1\%$ и зависят от z линейно. Ошибки в величине параметра D и пьедесталов приводят, в общем случае, к квадратичной зависимости Δz от величины z координаты. В то же время, в ряде экспериментов, в частности, при измерении сечений электрон-позитронной аннигиляции

в адроны, необходима систематическая точность определения телесного угла чувствительного объема ДК около $1.5 \cdot 10^{-3}$. Добиться такой точности можно произведя привязку треков из ДК к координатам трека, измеренным в Z-камере. Последняя имеет точность 0.5 мм для событий вылетающих под углом ~ 1 радиан к оси пучков.

4.12 Калибровка ДК с помощью Z-камеры

Лучшим способом калибровки была бы проверка того обстоятельства, что прямые линии остаются таковыми после их реконструкции. С какой-то точностью роль тестовых прямых линий выполняют треки коллинеарных событий упругого электрон-позитронного рассеяния, однако, с одной стороны их коллинеарность нарушается радиационными поправками, а с другой стороны, треки событий упругого рассеяния пересекают сигнальные проволочки в довольно узких участках - на внутренних радиусах вблизи середины проволочек, а на внешних - вблизи их краев. В связи с этими обстоятельствами, калибровка ДК проводилась с использованием треков космических частиц.

События для калибровки отбираются в два этапа.

На первом этапе отбираются события с двумя кластерами в CsI-калориметре с энергосуммой в каждом $50 < E_{cluster} < 150$ МэВ, причем каждому из кластеров должно соответствовать срабатывание секторов Z-камеры, а в калориметре разрешается наличие не более одного шумового кристалла с энергией больше 400 МэВ. После этих отборов остается 13% начальных событий.⁸

На втором этапе отбираются события, удовлетворяющие следующим условиям:

- в событии есть два трека с общей вершиной
- расстояние от вершины события до оси пучков превышает 5 мм
- с каждым треком связан кластер из Z-камеры
- среднеквадратичное отклонение прямой, проведенной через кластеры Z-камеры, не превышает 1.5 мм
- суммарное число точек на треках не менее 5.

⁸Эти события записываются на ленты с префиксом CSM для того, чтобы была возможность быстрой перекалибровки в случае изменения процедуры.

Для последующей процедуры из них выбираются “хорошие” срабатывания проволочек, причем статус качества этих срабатываний может модифицироваться:

- $A_1 > A_{threshold}$ и $A_2 > A_{threshold}$, где A_1 и A_2 – амплитуды сигналов с концов проволочки, а пороговое значение выбрано равным $A_{threshold} = 25$ каналов ЗЦП
- суммарная амплитуда сигналов не превышает утроенной средней амплитуды для данной проволочки $A_1 + A_2 < 3\bar{A}$. Средняя амплитуда определяется как среднее от распределения по параметру $A_1 + A_2$
- $|Z_{ZC} - z(A_1, A_2)| < dz_{max}$, причем $dz_{max} = 10$ см вначале работы процедуры и $dz_{max} = 3\sigma_z$ когда координатное разрешение проволочки уже определено.

Для каждой сигнальной проволочки, по срабатываниям прошедшим указанные отборы, заполняются массивы, которые содержат предполагаемую z -координату прихода первичной ионизации, полученную при проведении трека через кластеры Z -камеры, а также амплитуды сигналов с обоих концов проволочки. Калибровочные параметры P_1, P_2, R_1, R_2 и D для каждой проволочки определяются минимизацией функционала

$$\chi^2(P_1, P_2, R_1, R_2, D) = \sum_{i=1}^{N_{hit}} \frac{(Z_{ZC}^i - z(A_1^i, A_2^i, P_1, P_2, R_1, R_2, D))^2}{\sigma_z^2(A_1^i, A_2^i)}, \quad (8)$$

где Z_{ZC} – z -координата полученная при проведении трека через кластеры Z -камеры. Для правильной работы процедуры минимизации необходимо знание величин $\sigma_z^2(A_1^i, A_2^i)$. Вообще говоря, из соотношений (7) следует, что

$$\sigma_z^2(A_1, A_2) = 4D^2 \left(\frac{Z_2 - Z_1}{R_2 - R_1} \right)^2 \frac{A_2^2 \sigma_{A_1}^2 + A_1^2 \sigma_{A_2}^2}{(A_1 + DA_2)^4}. \quad (9)$$

Последнее выражение можно упростить, предположив, что $D \approx 1$ и $\sigma_{A_1} = \sigma_{A_2} = \sigma_A$. Тогда

$$\sigma_z^2(A_1, A_2) = 4 \left(\frac{Z_2 - Z_1}{R_2 - R_1} \right)^2 \frac{A_2^2 + A_1^2}{(A_1 + A_2)^4} \sigma_A^2. \quad (10)$$

Параметр σ_A , который входит в выражение (10), определяется на основе ширины распределения отклонений z -координат, восстановленных согласно выражению (7) от прямой, проведенной через кластеры Z -камеры.

На Рис. 18 приведены разрешения по z -координате и средние амплитуды сигналов с проволочек дрейфовой камеры в зависимости от номера слоя. Если предположить, что $A_1 = A_2 = \bar{A}/2$, то из (10) следует, что

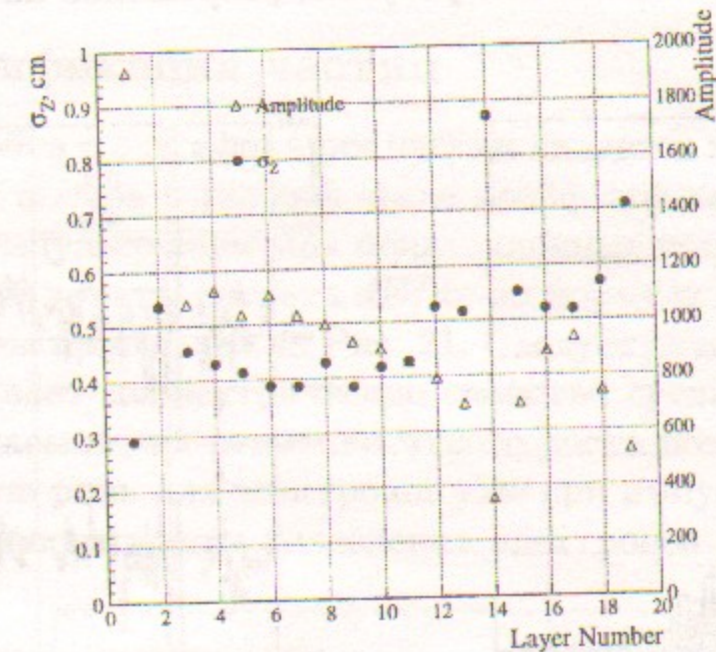


Рис. 18: Точность измерения z -координаты и средние амплитуды сигналов с проволочек в зависимости от номера слоя.

$$\sigma_A = \frac{R_2 - R_1}{Z_2 - Z_1} \frac{\sqrt{2}}{\bar{A}} \sigma_z \left(\frac{\bar{A}}{2}, \frac{\bar{A}}{2} \right). \quad (11)$$

Тогда выражение для координатного разрешения вдоль сигнальной проволочки примет вид:

$$\sigma_z(A_1, A_2) = \sigma_z \left(\frac{\bar{A}}{2}, \frac{\bar{A}}{2} \right) \bar{A} \frac{\sqrt{2(A_1^2 + A_2^2)}}{(A_1 + A_2)^2}. \quad (12)$$

Описанная процедура определения калибровочных параметров повторяется трижды с использованием очередного приближения их величин для более качественного отбора “хороших” срабатываний.

4.13 Результаты использования Z -камеры для калибровок z -координаты и реконструкции треков

Точка из Z -камеры учитывается при реконструкции, если связанный с треком кластер содержит не менее двух сработавших полосок. При этом

принимается, что $\sigma_z = 0.7$ мм. Рис. 19 иллюстрирует, как меняются распределения по углу расколлинearности событий упругого электрон-позитронного рассеяния после калибровки параметров проволоочки с помощью Z-камеры. Как видно из рисунка, разрешение по параметру $\Delta\theta$

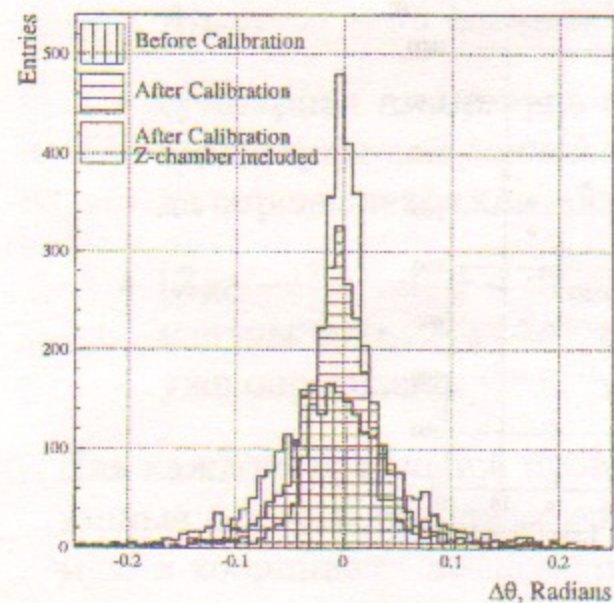


Рис. 19: Распределения по углу расколлинearности событий упругого электрон-позитронного рассеяния. Вертикальная штриховка - до калибровок параметров, горизонтальная - после калибровок, нештрихованная гистограмма - после включения в проведение трека точки из Z-камеры.

последовательно улучшается примерно в 3 раза. Процедура калибровки делается для всех заходов, которые объединяются в группы по два или три, чтобы на каждой проволочке набралось достаточное число срабатываний. На Рис. 20 показаны результаты применения этой процедуры для заходов эксперимента LOW-96.

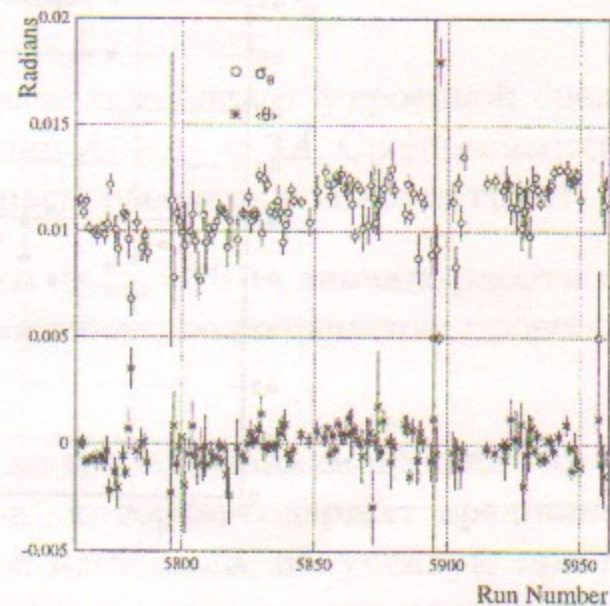


Рис. 20: Разрешение по углу расколлинearности событий упругого электрон-позитронного рассеяния в заходах 1996 года с энергией в системе центра масс от 2x185 МэВ до 2x260 МэВ.

5 Измерение удельных ионизационных потерь

5.1 Идентификация частиц

Одним из способов идентификации частиц является измерение удельных ионизационных потерь в газовой среде дрейфовой камеры детектора — при заданном импульсе величина ионизационных потерь зависит от массы частицы. Результаты расчета dE/dx по формуле Бете - Блоха в газовой среде камеры приведены на Рис. 21. Следует отметить, что эта формула не учитывает диэлектрические свойства среды и, следовательно, не описывает насыщения релятивистского роста потерь, который играет существенную роль для электронов уже при импульсах ~ 200 МэВ/с. Как видно из рисунка, для разделения электронов и пионов необходи-

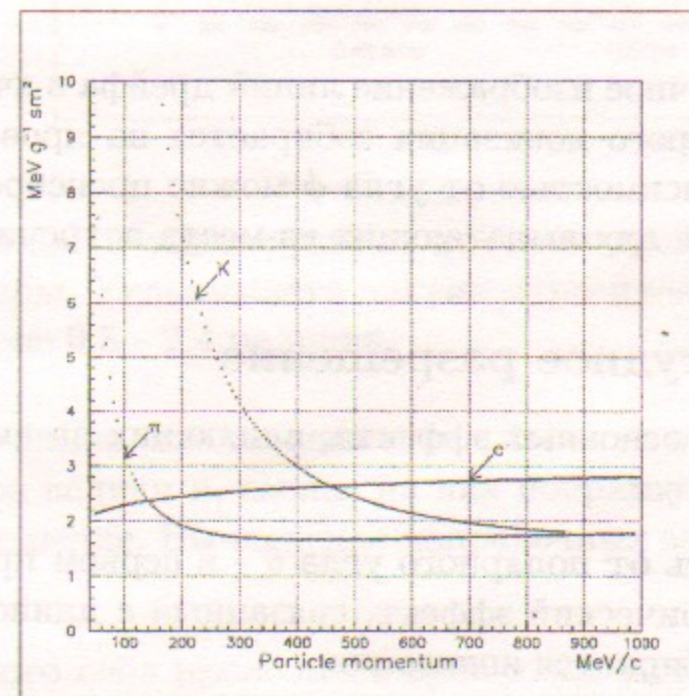


Рис. 21: Зависимость удельных ионизационных потерь от импульса.

мо чтобы энергетическое разрешение дрейфовой камеры было не хуже $\sim 15\%$. Кроме статистических флуктуаций первичной ионизации и газового усиления, на величину измеренной амплитуды оказывают влияние ряд других факторов, рассмотренных ниже.

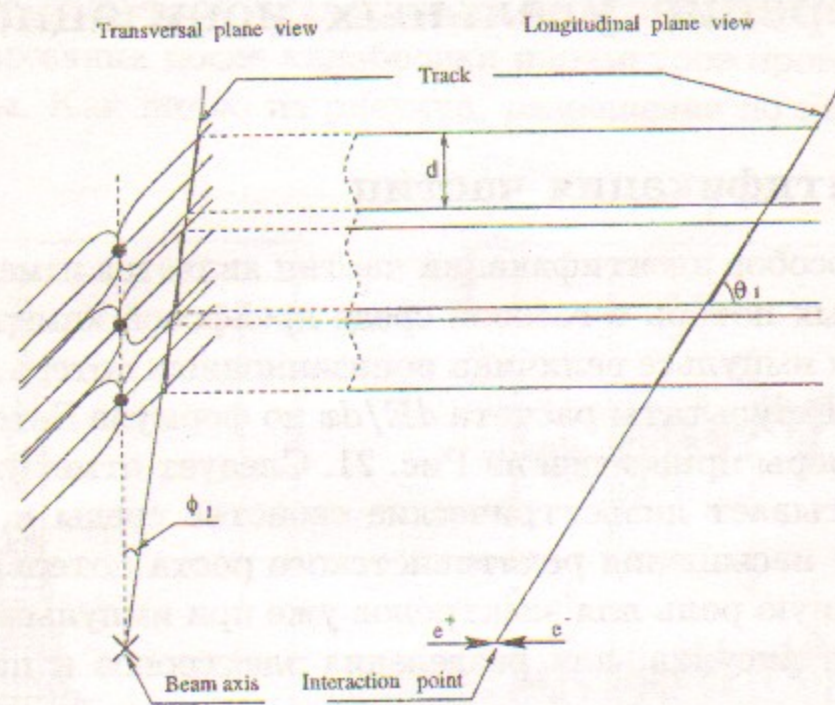


Рис. 22: Схематичное изображение линий дрейфа в ячейке. Длина участка трека, с которого ионизация собирается на проволочку, зависит от углов θ и ϕ . Зависимостью от угла ϕ можно пренебречь, так как диапазон его изменения для вылетающих из места встречи треков мал.

5.2 Амплитудное разрешение

Рассмотрим три основных эффекта, влияющих на амплитуду сигнала с анодной проволочки.

1. Зависимость от полярного угла θ - в первом приближении это чисто геометрический эффект, связанный с длиной участка трека, с которой собирается ионизация:

$$A \sim \frac{1}{\sin \theta}.$$

2. Поглощение ионизации в газе камеры, которое ведет к зависимости амплитуды сигнала от длины или времени дрейфа. Если коэффициент поглощения не зависит от величины электрического поля, можно считать:

$$A \sim e^{-\frac{t}{t_0}},$$

где параметр t_0 характеризует длину поглощения.

3. Нелинейность процессов газового усиления и нелинейность электроники.

Экспериментальные зависимости амплитуд от времени дрейфа и угла θ приведены на Рис. 24 и 23.

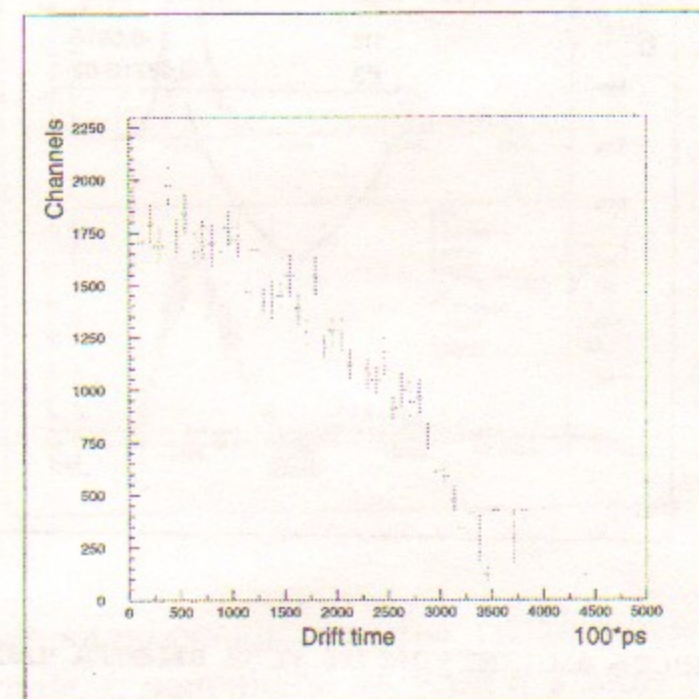


Рис. 23: Зависимость амплитуды от времени дрейфа в одном из слоев дрейфовой камеры. Углы вылета частиц относительно оси пучков находятся в диапазоне 0.8 - 2.4 радиана.

Из рисунков видно, что зависимости амплитуд от углов вылета трека и времен дрейфа велики и, сделав на них поправку, можно существенно улучшить разрешение. Вычисление поправочных зависимостей делается в два этапа:

1. Для каждого слоя проволочек дрейфовой камеры определяется зависимость средней амплитуды сигнала A от угла вылета частицы θ , которая аппроксимируется функцией

$$A(\theta) = \frac{A_1}{\sin(\theta - A_3)} [1 - A_2 \cdot \cos(\theta - A_3)],$$

где A_1 , A_2 и A_3 - свободные параметры.

2. Определяется зависимость поправленных с помощью функции $A(\theta)$ амплитуд от времени дрейфа. Эта зависимость аппроксимируется полиномом третьей степени $A(t_{drift})$.

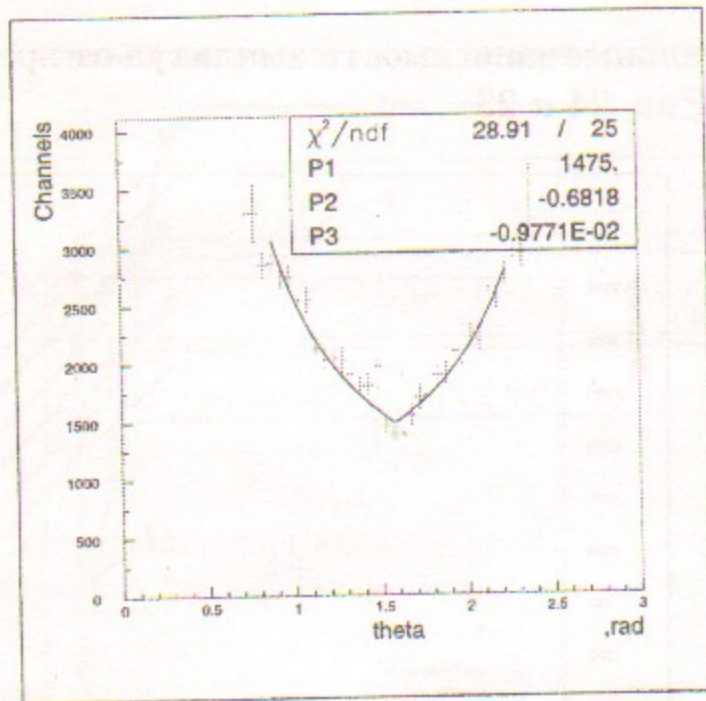


Рис. 24: Зависимость амплитуды от угла вылета частиц во всем диапазоне времен дрейфа.

Функция $A(\theta)$ содержит в себе два множителя — $\frac{A_1}{\sin \theta}$, учитывающий геометрический фактор и $(1 - A_2 \cdot |\cos(\theta)|)$. Поскольку

$$\cos(\theta) = \frac{x}{l} = \frac{x}{Q} \cdot \frac{Q}{l} = \frac{\rho_0}{\rho},$$

где, как поясняется на Рис. 22, l - длина трека с которой собран заряд ионизации, x - отрезок сигнальной проволочки, на который собирается ионизация, Q - собранный заряд, второй множитель можно записать как $(1 - A_2 \cdot \frac{\rho_0}{\rho})$, где ρ - плотность ионизации на единицу длины проволочки, ρ_0 - плотность ионизации на единицу длины трека. Этот множитель представляет собой зависимость амплитуды A от ρ и характеризует эффект насыщения процесса газового усиления за счет экранировки поля проволочки пространственным зарядом ионизации.

При реконструкции величины dE/dx , измеренная амплитуда сигнала с проволочки, делится на величины $A(\theta)$ и $A(t_{drift})$ при соответствующих значениях θ и t . Поскольку среднее значение поправленных амплитуд нормировано на 1, умножением его на константу можно получить любое удобное значение для среднего энерговыделения.

Результат работы этой процедуры представлен на Рис. 25.

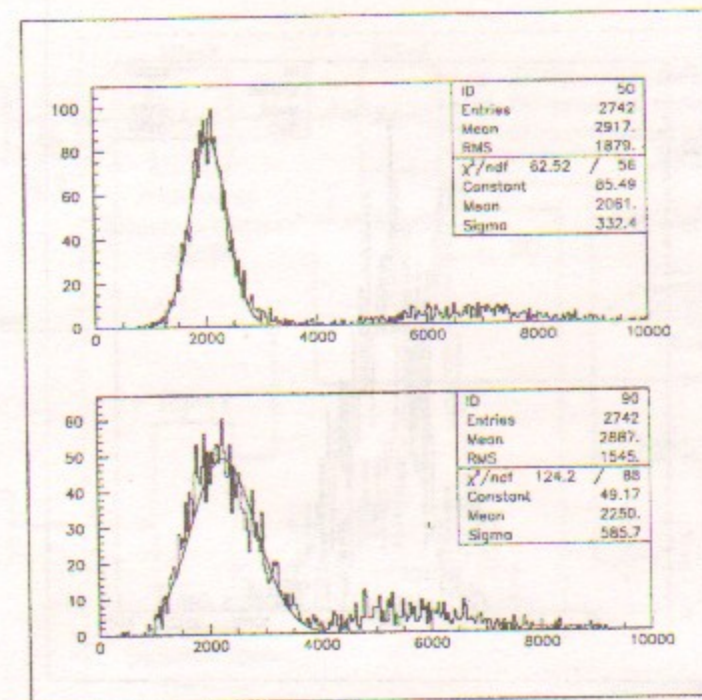


Рис. 25: Результат калибровки: нижняя гистограмма - распределение dE/dx до калибровки, с поправкой на угол θ в виде $(A \sim \frac{1}{1+2 \cdot |\cos(\theta)|})$, которая значительно улучшает разрешение; верхняя гистограмма - то же распределение после калибровки. Пик с меньшими амплитудами - энерговыделения событий упругого e^+e^- рассеяния при энергии пучка 509.5 МэВ, пик с большими амплитудам соответствует энерговыделениям каонов.

Попытка учета корреляций между функциями $A(\theta)$ и $A(t_{drift})$ не привела к значимому улучшению разрешения.

5.3 Разделение π и e

На Рис. 26 показана ситуация с разделением π и e . Несмотря на то, что в результате калибровок разрешение улучшается до $\sim 17-20\%$, π и e разделяются плохо. Возможно это связано с тем, что, из-за насыщения релятивистского роста потерь, потери электронов при больших энергиях оказываются меньше, чем следует из формулы Бете-Блоха.

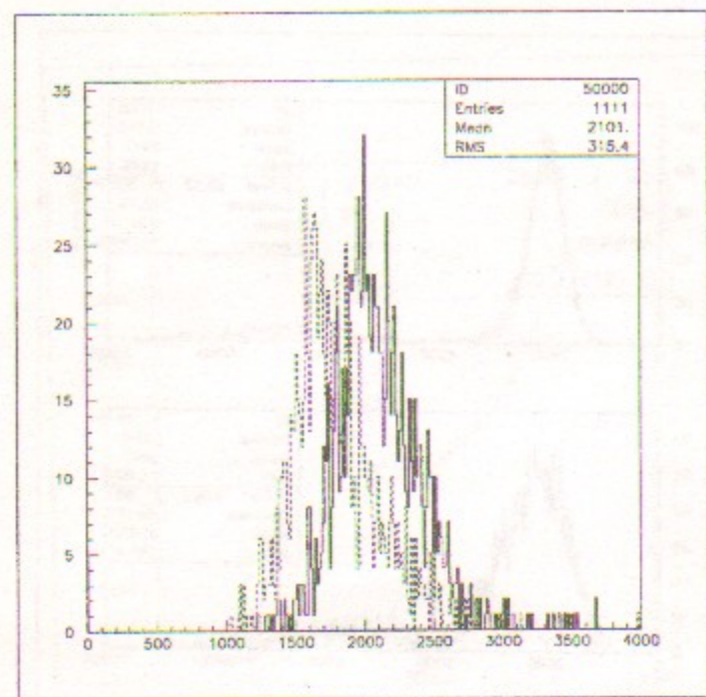


Рис. 26: Распределения потерь: штрихованная гистограмма - потери пионов; нештрихованная - потери электронов.

6 Приложение 1. Электронные и ONLINE калибровки дрейфовой камеры

Для определения дрейфовой и Z-координат точек треков необходимо знать значения ряда параметров, характеризующих каждый канал электроники. К этим параметрам относятся:

- $\tau_{delay1,2}^i$ — время задержки для 1 и 2 стороны проволочки i
- K_1^i/K_2^i — отношение коэффициентов преобразования трактов электроники для 1 и 2 стороны проволочки i
- $R_{1,2}^i$ — значения описанного в разделе 4.8 параметра R для проволочки i в точках ее контакта с фиксирующими трубками Z_1 и Z_2
- D_R^i — коэффициент, нормирующий суммарную амплитуду сигнала с проволочки i на среднюю амплитуду по октанту
- $P_{1,2}^i$ — пьедесталы каналов оцифровки амплитуды в платах T2A для 1 и 2 стороны проволочки i

Целью электронной калибровки является определение всех перечисленных параметров. На Рис. 27 показана схема калибровок дрейфовой камеры, использующая разработанные и изготовленные в ИЯФ блоки в стандарте КАМАК. Сигнал с тактового генератора G2001 поступает в раз-

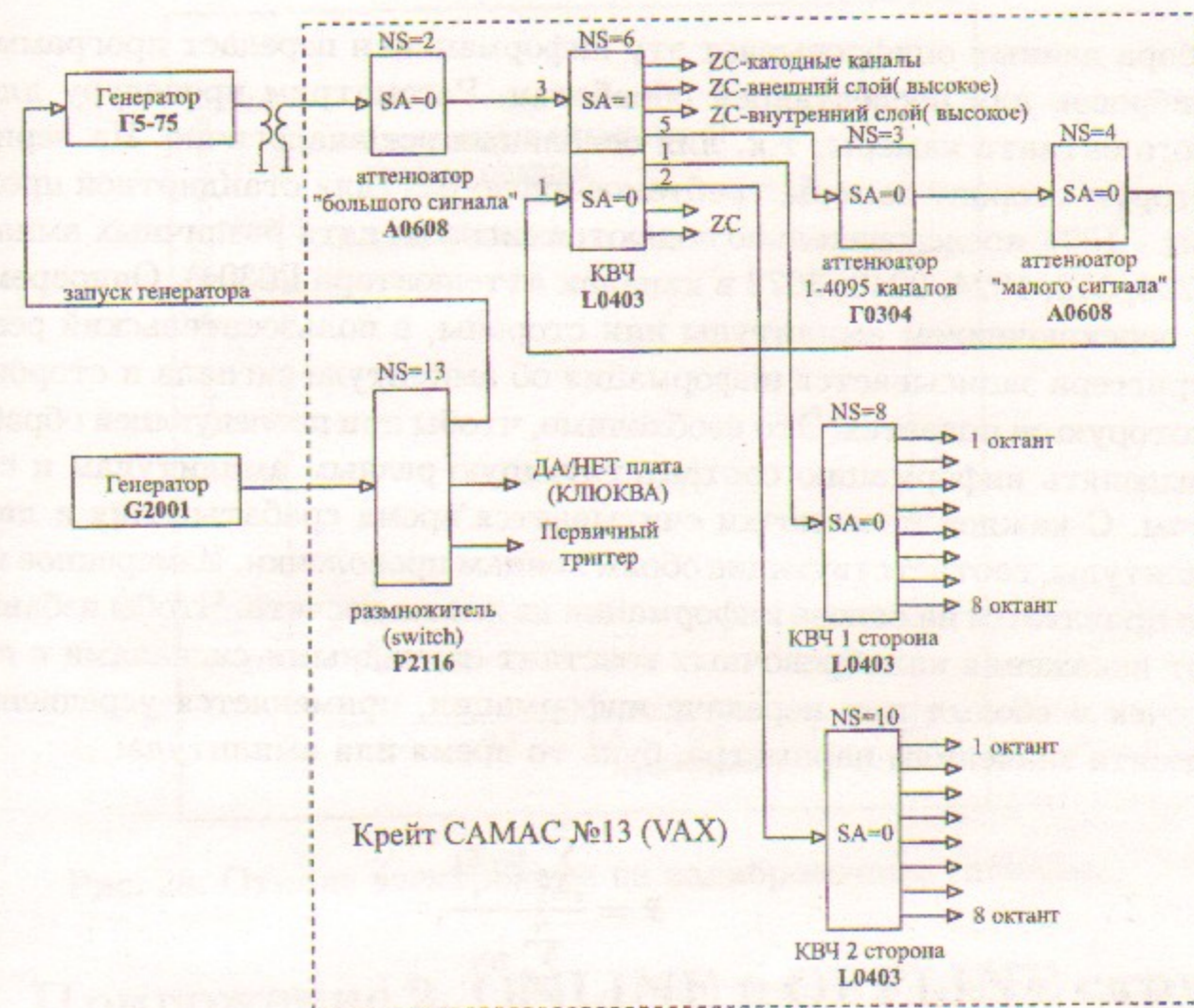


Рис. 27: Схема электроники для калибровки дрейфовой камеры.

множитель P2116, который формирует сигналы для запуска генератора Г5-78, в ДА/НЕТ плату КЛЮКВЫ и на запуск первичного триггера. С генератора Г5-78 калибровочный сигнал через гальваническую развязку поступает на аттенюатор A0608, далее на коммутатор высокочастотных сигналов L0403, где распределяется на дрейфовую и Z-камеры. С KVЧ сигнал дрейфовой камеры поступает на аттенюатор Г0304 с диапазоном 1-4095 каналов, затем на аттенюатор A0608 и возвращается в KVЧ, но уже по другому адресу. Отсюда сигнал идет на KVЧ первой либо второй стороны камеры. Последним KVЧ сигнал коммутируется на октанты дрейфовой камеры.

Для управления электроникой и набора необходимой информации была написана программа электронных калибровок дрейфовой камеры CLBRDC. Схема ее работы выглядит следующим образом: программа определяет последовательность подачи сигналов необходимой амплитуды на требуемую сторону и октант дрейфовой камеры, затем система

сбора данных оцифровывает эту информацию и передает программе калибровок для последующей обработки. Рассмотрим процедуру для одного октанта камеры, т.к. для остальных все аналогично. На первую и вторую сторону камеры требуется число раз (для стандартной процедуры — 100), последовательно подаются сигналы пяти различных амплитуд (256, 512, 1024, 2048, 3072 в каналах аттенюатора Г0304). Одновременно с переключением амплитуды или стороны, в пользовательский регистр триггера записывается информация об амплитуде сигнала и стороне, на которую он подается. Это необходимо, чтобы при последующей обработке выделять информацию соответствующую разным амплитудам и сторонам. С каждой проволоочки считывается время срабатывания и две амплитуды, соответствующие обоим концам проволоочки. Измеренное время поправляется на основе информации из платы досчета. Чтобы избавиться от искажения калибровочных констант случайными сигналами с проволоочек и сбоями при передаче информации, применяется усреднение по десяти значениям параметра, будь то время или амплитуда:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i},$$

где w_i веса, вычисляемые согласно выражению:

$$w_i = \frac{1}{\prod_{k=1}^n (1 + |x_k - x_i|)}.$$

Среднеарифметическая величина усредненных по десяткам событий значений параметров заносится в файл калибровочных констант. Для получения коэффициентов преобразования амплитудной информации с проволоочки и пьедесталов зарядово-цифровых преобразователей, зависимость величины оцифрованных сигналов от поданных амплитуд аппроксимируется линейной функцией $y = ax + b$, где a -коэффициент преобразования, а b -пьедестал. Типичный результат такой процедуры показан на Рис. 28. Задержка для каждой проволоочки определяется усреднением времени по всем амплитудам. Одновременно с созданием файла с записью калибровочных констант, производится гистограммирование оцифрованной информации во всех каналах. С помощью этих гистограмм выявляются нерабочие каналы электроники. Полученная информация записывается на диск и, впоследствии, на магнитную ленту вместе с заходом.

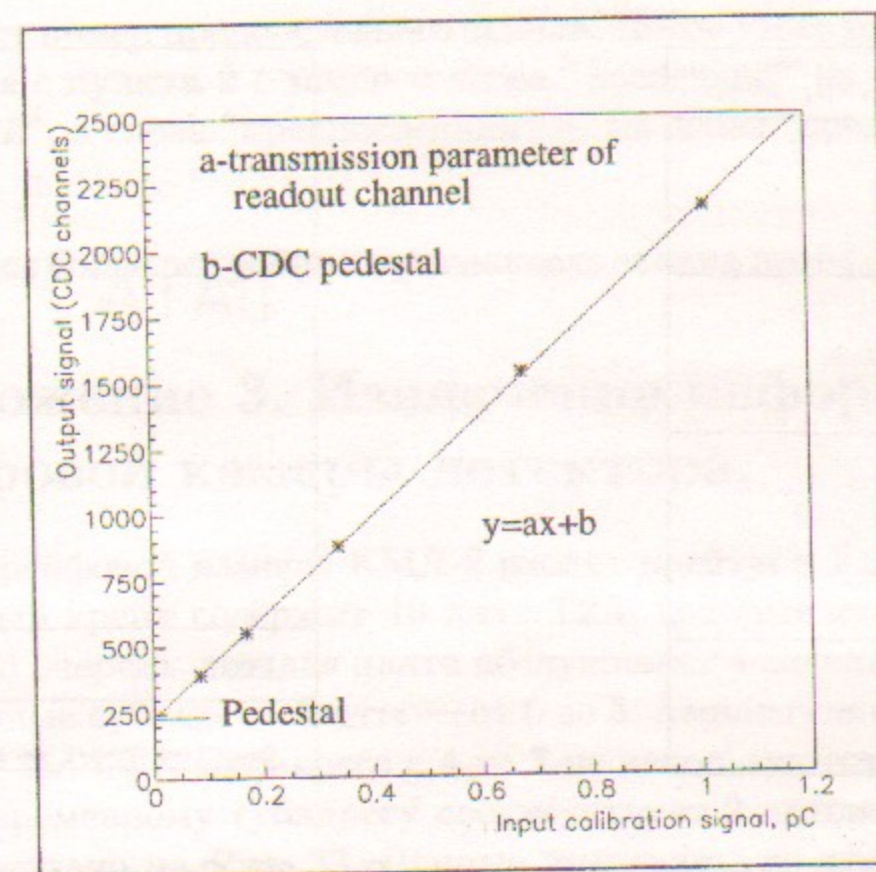


Рис. 28: Отклик электроники на калибровочные сигналы.

7 Приложение 2. ONLINE и OFFLINE структуры записи информации с дрейфовой камеры

Оцифрованные данные хранятся в формате CERN-ONLINE [14]. При этом информация, относящаяся к одной системе (ДК, Z-камера, CsI, BGO, мюонная система, триггер), объединяется в так называемый экипа (equip), как показано на Рис. 29. Первое число в записи — размер события в двубайтовых INTEGER словах. Следующий блок данных, называемый HEADER, содержит служебную информацию о типе записи (калибровка, запись Start-of-run, запись Start-of-burst, запись End-of-Run, событие), номер захода, номер события, триггерное слово события, дата, время и т. д. Структура экипа показана на Рис. 30, а каждое данное внутри экипа имеет вид, указанный на Рис. 31. Оно состоит из адреса и собственно информационной записи. Структура адреса показана на Рис. 32.

Информация о событии извлекается следующим образом:

1. Определив по первому слову длину события, переходим в его конец. Последнее слово в записи события — это длина последнего экипа.

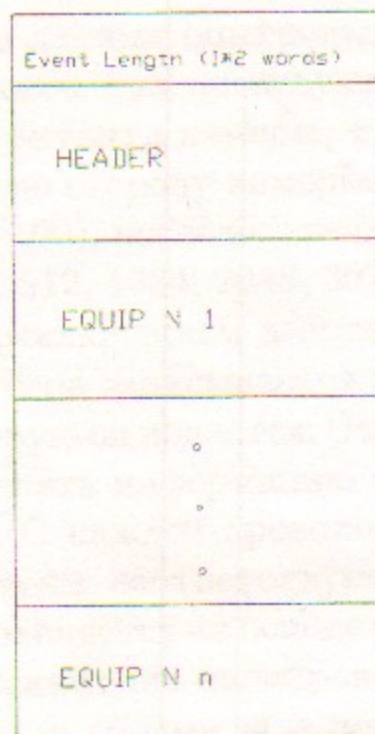


Рис. 29: Общий вид данных в формате CERN-ONLINE

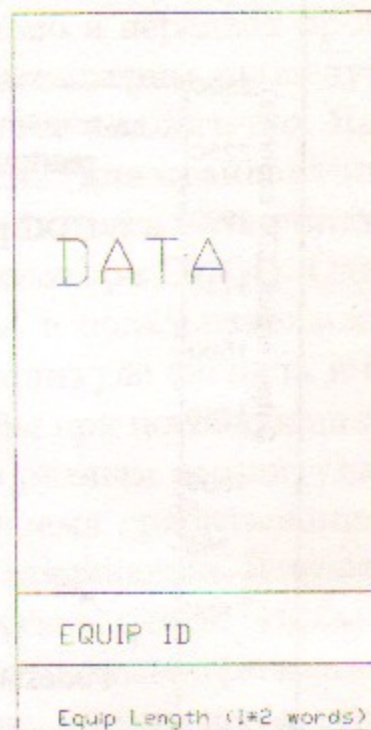


Рис. 30: Структура экипа

А предпоследнее — номер этого экипа.

2. Зная длину последнего экипа идем в его начало.
3. В соответствии с правилами распаковки последнего экипа извлекаем содержащуюся в нем информацию.
4. Если NW_{equip}^{last} — число слов в последнем экипае, а NW_{event} — число слов в событии, то отсчитав от начала события $NW_{event} - NW_{equip}^{last} - 3$ слов получим длину предпоследнего экипа, $NW_{event} - NW_{equip}^{last} - 4$

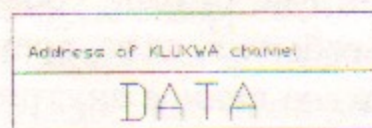


Рис. 31: Вид данного

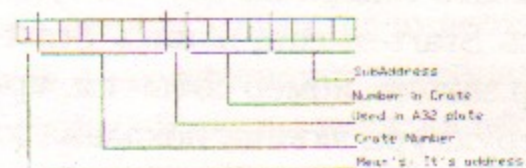


Рис. 32: Адрес данного из экипа дрейфовой камеры в формате CERN-ONLINE (восьмеричное представление числа).

слово даст номер предпоследнего экипа. После этого процедура повторяется с пункта 2 с заменой слова "последний" на слово "предпоследний", а слова "предпоследний" — на слово "предпредпоследний" и т. д.

Остановимся более подробно на распаковке экипа дрейфовой камеры.

8 Приложение 3. Извлечение информации с дрейфовой камеры детектора.

В экипа дрейфовой камеры КМД-2 входят крейты с 1 по 8 включительно. Каждый крейт содержит 16 плат T2A, которые нумеруются от 0 до 15. В свою очередь, каждая плата обслуживает 4 сигнальные проводочки. Временные субадреса платы — от 0 до 3. Амплитудные субадреса — от 8 до 15 (см. [3]). Субадреса с 4 по 7 не используются.

Каждому временному субадресу соответствует 2 амплитудных субадреса как показано на Рис. 33. Данные упакованы по тройками, т. е.

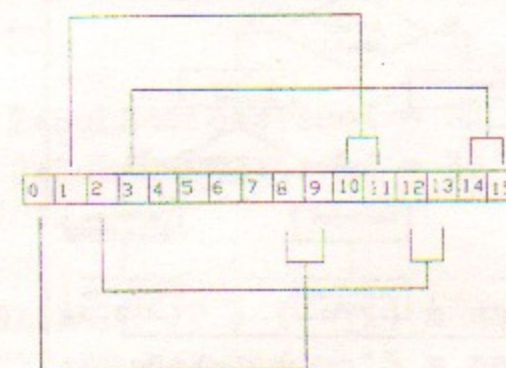


Рис. 33: Соответствие между временными и амплитудными субадресами на плате T2A

для каждой сработавшей проводочки первое данное — это время, а второе и третье данные — амплитуды, измеренные данной проводочкой.

Распаковка выполняется в цикле по числу слов в экипае дрейфовой камеры следующим образом:

1. Из адреса извлекается номер крейта (биты с 9 по 15) и проверяется, что это крейт дрейфовой камеры.
2. Извлекается субадрес данного (биты с 1 по 4) и проверяется, что это временной субадрес.

3. Проверяется, что следующих два данных имеют амплитудные субадреса, соответствующие найденному временному субадресу.
4. В случае соответствия субадресов, временное и амплитудные данные извлекаются, делается сдвиг на 6 слов и процедура повторяется с пункта 1.
5. В противном случае (найдено время, не найдены амплитуды) — извлекается временное данное и делается сдвиг на 2 слова. После этого процедура повторяется с пункта 1.
6. Если временной адрес не найден делается сдвиг на 2 слова и процедура повторяется с пункта 1.

Данный алгоритм иллюстрируется схемой на Рис. 34. По номерам крей-

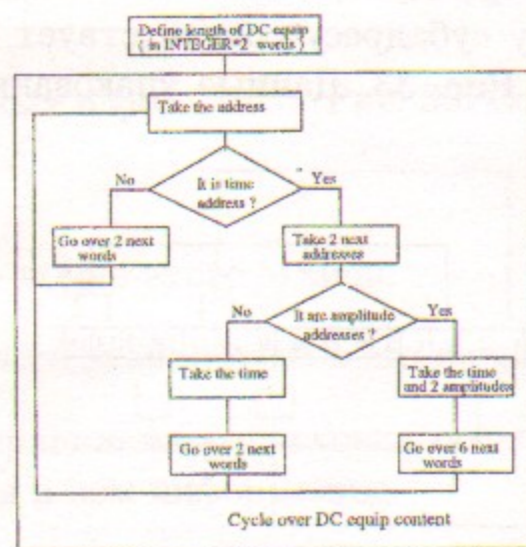


Рис. 34: Процедура распаковки эквипа дрейфовой камеры детектора.

та, платы T2A в крейте (биты с 5 по 8) и временного субадреса определяется номер сигнальной проволоочки в камере (от 1 до 512) по формулам:

$$\begin{aligned}
 NW &= 2 \cdot N_{card} + 1 + INT\left(\frac{N_{sa}^t}{2}\right) + 6 \cdot MOD\left(\frac{N_{sa}^t}{2}\right) + 12 \cdot (N_{crate} - 1) \\
 &\text{при } N_{card} \leq 2 \\
 NW &= 96 + (N_{card} - 2) + 7 \cdot N_{sa}^t + 28 \cdot (N_{crate} - 1) \\
 &\text{при } 2 < N_{card} \leq 9 \\
 NW &= 320 + (N_{card} - 9) + 6 \cdot N_{sa}^t + 24 \cdot (N_{crate} - 1) \\
 &\text{при } N_{card} > 9,
 \end{aligned} \tag{13}$$

где NW — абсолютный номер проволоочки, N_{card} — номер платы в крейте, N_{sa}^t — временной субадрес, N_{crate} — номер крейта

Содержание эквипа дрейфовой камеры хранится в банке RJDC структуры обработанного события КМД-2. Из амплитуд, сразу после распаковки, вычитаются пьедесталы, обычно около 50 каналов. В OFFLINE обработке используются только "хорошие" тройки данных (имеющие время и превышающие пьедестал амплитуды.)

Приведем пример использования описанных процедур.

```

SubAddressTime = (ADDRESS.AND."17) ( = 3 в данном случае )
IF( SubAddressTime.GE.0.AND.SubAddressTime.LE.3 ) THEN
Это временной субадрес.
ELSE
Это не временной субадрес.
ENDIF

```

Наш временной субадрес — 3, и из Рис. 33 следует, что временному субадресу номер 3 должны соответствовать амплитудные субадреса 14 и 15. Извлекаем их способом описанным выше и убеждаемся, что они действительно равны 14 и 15.

```

SubAddressA1 = 2*SubAddressTime( = 3 ) + 8 ( = 14 в данном случае )
SubAddressA2 = 2*SubAddressTime( = 3 ) + 9 ( = 15 в данном случае )
ADDRESS1 = "102076
ADDRESS2 = "102077
SA1 = ( ADDRESS1.AND."17 ) ( = 14 в данном случае )
SA2 = ( ADDRESS2.AND."17 ) ( = 15 в данном случае )
IF( SA1.EQ.SubAddressA1.AND. SA2.EQ.SubAddressA2 ) THEN
Найдена правильная тройка данных
ELSE
Найдено только время
ENDIF

```

Еще нам нужен номер проволоочки. Воспользуемся формулой (13):

$$\begin{aligned}
 CRATE &= 2 \\
 PLATE &= 6 \\
 SubAddressTime &= 3 \\
 NW &= 96 + (6 - 2) + 7 \cdot 3 + 28 \cdot (2 - 1) = 149
 \end{aligned}$$

Итак, в результате проведенной работы мы получили, что

Проволочка 149 измерила	
время	372 канала
амплитуда 1	603 канала
амплитуда 2	386 канала

Список литературы

- [1] *Г.А.Аксенов и др.*, Препринт ИЯФ 85-118, Новосибирск, 1985, *E.V.Anashkin et al.*, ICFA Instr.Bull. 5 (1988) 18.
- [2] *E.V.Anashkin et al.*, A Coordinate System of the CMD-2 Detector, Nucl.Instr.and Meth. **A283** (1989) 752.
- [3] *В. М. Аульченко, Б. О. Байбусинов, В. М. Титов* Информационные платы ТП, ΔT и Т2А системы сбора данных КЛЮКВА. Препринт 88-22, Новосибирск 1988.
- [4] *Rob Veenhof*, Garfield, a drift-chamber simulation program, Users guide, Version 5.13, Cern Program Library entry W5050, 1995.
- [5] *А.С. Попов*, Установка для измерения параметров газовых смесей. Квалификационная работа на соискание степени бакалавра, Новосибирск, 1997.
- [6] ZEBRA CERN Program Library Long Writeups Q100/Q101, Cern Geneva, Switzerland, 1995.
- [7] *V.A.Monich*, ZTREE-data analysis and graphic display system. Preprint 94-78, Novosibirsk, 1994.
- [8] *V.A.Chechin Yu.A.Budagov*, Ionization Measurements in High Energy Physics. Springer Berlin, 1994.
- [9] *W.Blum L.Rolandi*, Particle Detection with Drift Chambers. Springer Berlin, 1993.
- [10] *A.Peisert and F.Sauli*, Drift and diffusion of electrons in gases: a compilation. Cern 84-08, EPD, 13 July 1984.

- [11] *Ф.В.Игнатов*, Изучение разрешения дрейфовой камеры камеры детектора КМД-2. Квалификационная работа на соискание степени бакалавра, Новосибирск, 1999.
- [12] *А.Д. Бужин*, Интерполяция экспериментальных данных при отсутствии теоретической модели. Препринт ИЯФ 98-95, Новосибирск, 1985.
- [13] *R.R.Akhmetshin, G.A.Aksenov, E.V.Anashkin et al.*, Recent results from CMD-2 Detector at VEPP-2M. Preprint INP 99-11, Novosibirsk, 1999.
- [14] PDP-11 ONLINE DATA ACQUISITION MANUAL.

Ф.В. Игнатов, П.А. Лукин, А.С. Попов,
А.Л. Сибиданов, И.Г. Снопков, Е.П. Солодов,
А.В. Успенский, Б.И. Хазин, Д.В. Черняк

Дрейфовая камера КМД-2

*F.V. Ignatov, P.A. Lukin, A.S. Popov,
A.L. Sibidanov, I.G. Snopkov, E.P. Solodov,
A.V. Uspensky, B.I. Khazin, D.V. Chernyak*

The drift chamber of the KMD-2 detector

ИЯФ 99-64

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев

Работа поступила 28.07.1999 г.

Сдано в набор 12.08.1999 г.

Подписано в печать 16.08.1999 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 2.9 печ.л., 2.4 уч.-изд.л.

Тираж 140 экз. Бесплатно. Заказ № 64

Обработано на IBM PC и отпечатано на
ротапринте ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.