

B382
К.64

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

им. Г.И. Будкера СО РАН

КОНКУРС
МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

СЕКЦИЯ
“ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ”

ДОКЛАДЫ

НОВОСИБИРСК

2003

I-ый экз.
В382 | Конкурс молодых
К.64 | специалистов
Секция "Физика элемен-
тарных частиц"

Новосибирск, 2003 г. б/ц

I-ый экз.

Сибирское отделение Российской Академии наук

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им.Г.И. Будкера

В382
к.64

КОНКУРС МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

СЕКЦИЯ ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Доклады

НОВОСИБИРСК

2003

Конкурс молодых специалистов

Секция физика элементарных частиц

Доклады.

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

Аннотация

Конкурс молодых специалистов дает возможность молодым ученым представить свою работу. В этом сборнике докладов собраны работы, представленные на этом конкурсе.

Young Scientist Conference

High Energy Physics

Proceedings.

Budker Institute of Nuclear Physics
630090, Novosibirsk, Russia

Abstract

On the Young Scientist Conference young scientists have the opportunity to present their works. This proceeding is the set of reports presented on the conference.

Содержание

Белобородова О.Л., Калибровка калориметра детектора КЕДР по событиям Vhabha рассеяния.	5
Горбачев Д.А., Прототип дрейфовой камеры детектора КМД-3.	15
Образовский А.Е., Прототип трековой системы детектора СНД	27
Присекин В. Г., Исследование катодного старения проволочных камер.	37
Штоль Д.А., Моделирование светосбора в счетчиках калориметра детектора СНД.	54

Калибровка calorиметра детектора КЕДР по событиям Vhabha рассеяния

Белобородова О.Л.¹

Аннотация

В данной работе описана относительная калибровка calorиметра с использованием нерадиационного Vhabha рассеяния. Метод калибровки основан на минимизации ширины распределения энергий кластеров. Проводилась калибровка calorиметра на моделировании, а также калибровка CsI части calorиметра по данным эксперимента по определению массы J/Ψ .

1 Введение

Calorиметр детектора КЕДР состоит из цилиндрической и торцевой частей на основе LKг и CsI, соответственно. Цилиндрический calorиметр состоит из трех слоев башен и восьми слоев ϕ - и z -стрипов. Торцевой calorиметр содержит два слоя кристаллов CsI.

Кристаллы (башни) calorиметра физически разные и дают разный отклик, тогда как в моделировании мы имеем дело с "идеальным" энерговыделением и одинаковыми, с точностью до геометрической формы, кристаллами.

Калибровка calorиметра решает следующие задачи: первая — нахождение коэффициентов для каждого кристалла, при которых получается наилучшее разрешение и пик распределения по энергиям кластеров становится в заданное место. Вторая задача — сделать одинаковым отклик детектора в эксперименте и моделировании, что является необходимым условием для анализа событий. Отклик кристаллов (башен) может изменяться с течением времени, и калибровочные константы должны регулярно обновляться. Так, например, детектор CLEO обновляет калибровочные константы раз в несколько месяцев [1]. Наиболее подходящим для калибровки процессом является Vhabha рассеяния. Этот процесс имеет

¹ Аспирант ИЯФ, научные руководители д.ф.-м.н. Тихонов Ю.А., к.ф.-м.н. Скопцев Ю.И.

большое сечение и простую кинематику. В настоящей работе изучается калибровка башен LKг и кристаллов CsI методом, предложенным в эксперименте на детекторе CLEO. Этот метод является методом offline калибровки.

2 Метод калибровки

Метод состоит в минимизации ширины распределения энергий кластеров и установлении энергии кластера в заданное положение, равным энергии электрона (позитрона) в событии $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$.

Энергия кластера равна $E = \sum c_i \epsilon_i$, где c_i - калибровочная константа кристалла, ϵ_i - энергия, измеренная в кристалле, i - номер кристалла. Распределение χ^2 для энергий кластеров:

$$\chi^2 = \sum_k \frac{(\sum_i c_i \epsilon_i^k - E_0)^2}{(\sigma^k)^2} \quad (1)$$

где E_0 - энергия электрона (позитрона), σ^k - энергетическое разрешение калориметра. В настоящей работе предполагается $\sigma^k = const$. Система линейных уравнений для нахождения констант c_i получается из условия минимизации χ^2 :

$$\sum c_i M_{ij} = R_j \quad (2)$$

$$M_{ij} = \sum_k \epsilon_i^k \epsilon_j^k / (\sigma^k)^2 \quad (3)$$

$$R_j = \sum_k \epsilon_j^k E^k / (\sigma^k)^2 \quad (4)$$

Для решения этой системы уравнений используется пакет SLAP.

3 Калибровка по данным моделирования

Процедура калибровки:

1. Набор статистики, заполнение калибровочной матрицы и вектора правой части
2. Решение системы уравнений и получение вектора калибровочных констант

3. Реконструкция с полученными константами

Далее на рисунках 1, 2 показаны распределения констант по слоям. Видно, что более удаленные слои имеют большую величину констант. Пик в единице связан с тем, что в моделировании отсутствовали 128 кристаллов CsI калориметра, расположенных в центре, а т.к. константы по слоям изображены отдельно, то в пике $128/2 = 64$ константы.

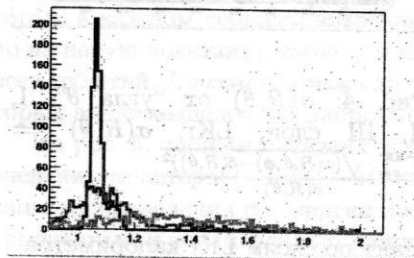


Рис. 1: Калибровочные константы, LKг. Синий - первый слой, красный - второй, зеленый - третий.

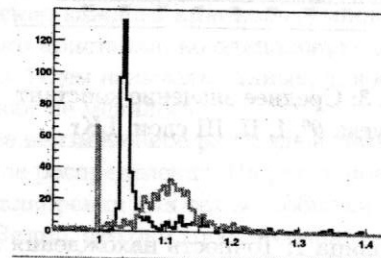


Рис. 2: Калибровочные константы, CsI. Синий - первый слой обоих торцов, зеленый - второй.

Важным вопросом является исследование статистической точности нахождения констант. LKг калориметр обладает цилиндрической симметрией. Поскольку в моделировании мы имеем дело с идеальным энергосъемлением, то при проведении калибровки на моделировании при большой статистике мы должны получить одинаковые константы для симметрично расположенных башен. Усреднив константы по углу ϕ и вычислив их разброс $\sigma(R, \theta) = \frac{\sum_{\phi=1}^{48} \sqrt{(c(R, \theta, \phi) - \bar{c}(R, \theta))^2}}{\bar{c}(R, \theta)}$, мы можем оценить статистическую точность нахождения констант в LKг калориметре.

На рисунке 3 приведены средние значения калибровочных констант (усреднение по ϕ) для LKг калориметра в зависимости от номера N цилиндрически симметричной части калориметра. Для более удобного размещения на рисунке во II и III слоях номер N цилиндрически симметричной части сдвинут на 20 и на 40 соответственно. Видно, что в первом слое при $N = 0$ и $N = 17$ константы имеют наибольшие средние значения 2,2 и 2,4, при других значениях N среднее значение около 1,15. Похожая картина наблюдается и во втором слое, но отличие констант при крайних значениях "полярного угла" меньше. В третьем слое вообще не наблюдается увеличения средних значений констант "по краям".

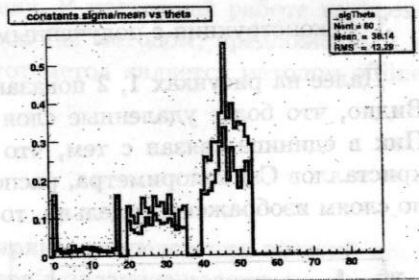
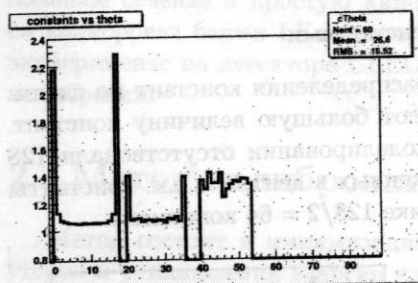


Рис. 3: Среднее значение констант от "угла θ ", I, II, III слои, LKг

Рис. 4: $\sigma(R, \theta)$ от "угла θ ", I, II, III слои, LKг, $\sigma(R, \theta) = \frac{\sum_{\phi=1}^{48} \sqrt{(c(R, \theta, \phi) - \bar{c}(R, \theta))^2}}{\bar{c}(R, \theta)}$

Таблица 1: Точность нахождения констант по слоям LKг calorиметра

Статистика	I	II	III
50 тыс.	3%	13%	33%
100 тыс.	2%	8%	23%

На рисунке 4 черным цветом показаны $\sigma(R, \theta)$ для слоев LKг calorиметра в зависимости от N . Видно, что с наилучшей точностью 2% константы определяются в I слое, за исключением крайних башен. Хуже всего определяются константы в III слое (точность 23%) и в крайних башнях I слоя (15%). Синим цветом показаны $\sigma(R, \theta)$ при использовании для калибровки половины статистики. Более подробное обсуждение рисунков 3 и 4 можно найти в [3].

4 Исследование работоспособности метода калибровки

Как будет работать метод калибровки в эксперименте, можно попытаться исследовать, сделав энерговыделение неидеальным.

1. Создание набора констант, моделирующего неодинаковость кристаллов (башен) в эксперименте
2. Набор статистики с измененным энерговыделением (энерговыделе-

ние каждого кристалла умножается на свою константу, одну для всех событий)

3. Решение системы уравнений, получение констант калибровки
4. Реконструкция измененных данных с использованием калибровочных констант

В дальнейшем будем называть *измененными* данными данные, у которых в каждом событии энерговыделение каждого кристалла умножено на некую константу, свою для каждого кристалла, но одинаковую для всех событий. *Неизмененными* данными будем называть данные, для которых энерговыделение кристаллов никак не менялось.

На рис. 5. черным показано исходное неизмененное распределение по энергиям кластеров, синим — измененное распределение. На рис. 6 показаны распределения по энергии после калибровки для тех же событий по измененным и неизмененным данным. Видно, что они хорошо совпадают, т.е. метод работает.

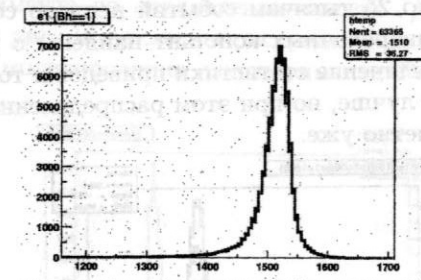
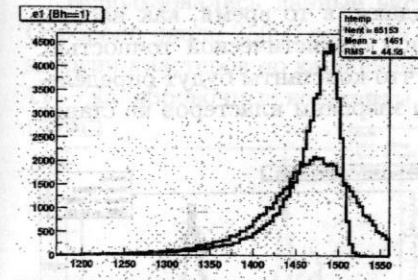


Рис. 5: Черный - энергия кластера до калибровки, данные не изменены, синий - то же, но данные изменены

Рис. 6: Черный - энергия кластера после калибровки, данные не изменены, синий - то же, но данные изменены. Реконструированы события, использованные для калибровки

Для исследования вопроса о том, какая статистика необходима для проведения калибровки, проводилась калибровка по измененным данным по разному количеству событий. После нахождения калибровочных констант проводилась реконструкция событий, использованных для калибровки и такого же количества независимых событий (энерговыделенных кристаллов и башен в независимых событиях изменялось с тем же

коэффициентами, что и для событий, использованных для нахождения констант). Результаты такой процедуры (распределены по энергии кластеров после калибровки) по 10 и 25 тыс. событий показаны на рис. 7-8. Видно, что при использовании для калибровки 10 тыс. событий распределение по энергии кластеров после калибровки независимых событий сильно отличается от аналогичного распределения для событий, по которым производилась калибровка. При использовании 25 тыс. событий эти распределения неплохо совпадают. Можно считать, что минимальным необходимым для калибровки количеством событий является 25 тысяч. Однако, при использовании 25-50 тыс. событий получается достаточно большое количество отрицательных констант и констант, много больших единицы. Отрицательные и большие по величине константы практически исчезают при увеличении статистики до 100 тыс. событий.

Ширина распределения по энергиям кластеров после калибровки значительно слабее зависит от количества использованных для калибровки событий, чем точность определения калибровочных констант. Из рис. 9 видно, то распределения по энергиям кластеров после калибровки по 50 и по 25 тысячам событий неплохо совпадают, в то время, как наборы калибровочных констант найдены с разной статистической точностью. Увеличение статистики приведет к тому, что константы будут определены лучше, но при этом распределение по энергиям кластеров не станет заметно уже.

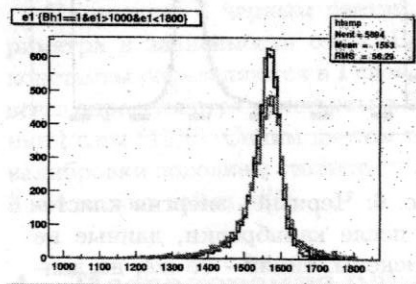


Рис. 7: Энергия кластера после калибровки по 10 тыс. событий. Реконструкция событий, использованных для калибровки и независимых событий, данные изменены

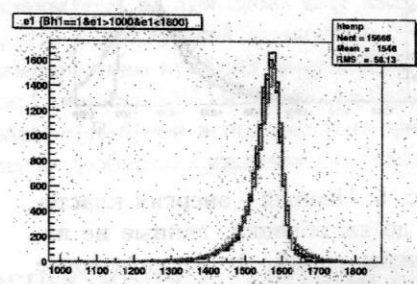


Рис. 8: Энергия кластера после калибровки по 25 тыс. событий. Реконструкция событий, использованных для калибровки и независимых событий, данные изменены

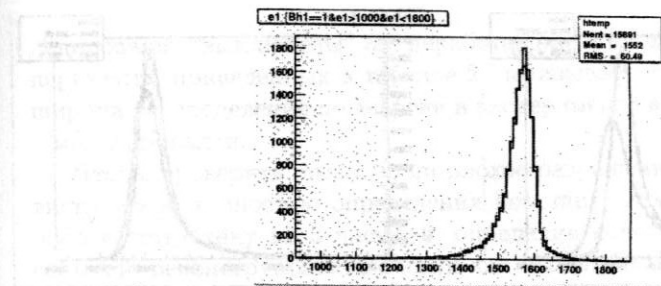


Рис. 9: Энергия кластера после калибровки красный – по 50 тыс. событий, синий – по 25 тыс. событий, реконструированы 25 тыс. событий

5 Калибровка CsI калориметра по экспериментальным данным

Использовались данные эксперимента по определению массы J/Ψ . Отобрано около 25000 событий. На рис. 10 показаны распределения по энергии кластеров до калибровки в моделировании и эксперименте. Рис. 11 – калибровочные константы.

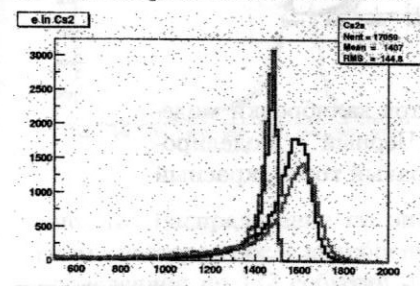


Рис. 10: Энергия кластеров до калибровки, моделирование и эксперимент. Красный – левый торец, синий – правый

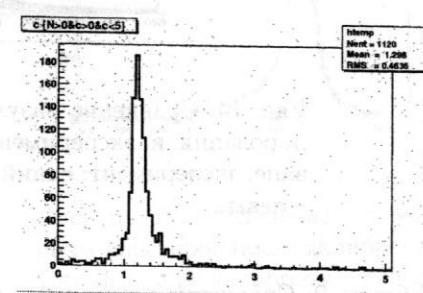


Рис. 11: Калибровочные константы, эксперимент

На рис. 12-13 – распределения по энергии кластеров до и после калибровки для левого и правого торцов калориметра.

На рис. 14 показаны результаты калибровки моделирования и эксперимента, распределения нормированы.

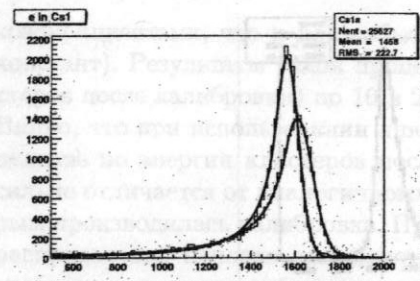


Рис. 12: Калибровка левого торца. Синий – до калибровки, черный – после

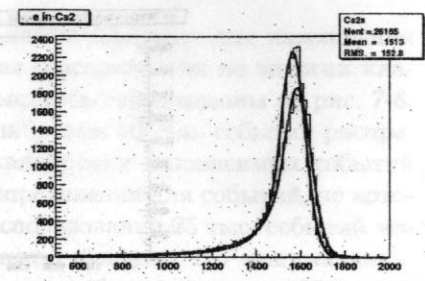


Рис. 13: Калибровка правого торца. Синий – до калибровки, черный – после

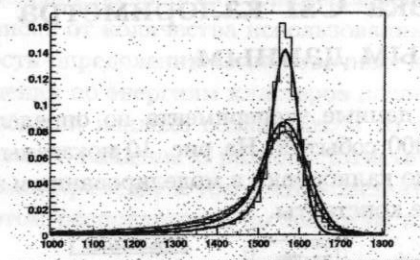


Рис. 14: Сравнение результатов калибровки моделирования и эксперимента. Черный – моделирование, эксперимент: синий – правый торец, красный – левый

Таблица 2: Сравнение результатов калибровки правого и левого торцов с моделированием

	E, MeV	E, MeV	σ	σ	σ/E	σ/E
	до	после	до	после	до	после
левый	1609	1562	69	52	4.3%	3.3%
правый	1582	1562	62	57	3.9%	3.6%
моделирование	1470	1565	35	33	2.4%	2.1%

Сравнение результатов калибровок по данным моделирования (в мо-

делировании “выключены” все неработавшие и плохие кристаллы) и эксперимента, приведенных в таблице 2, показывает, что после калибровки ширина распределения по энергии в эксперименте в 1.7 раза больше, чем в моделировании.

Чтобы проверить, вызвано ли плохое разрешение недостаточной статистической точностью определения констант, можно разделить имеющуюся статистику на 3 части, и, определив константы по одной трети событий, реконструировать с ними как использованные для калибровки события, так и независимые. Результат показан на рис. 15. Распределения по энергиям кластеров для всех трех частей хорошо совпадают. Подобная ситуация была рассмотрена в п.6 данной работы для моделирования. Увеличение статистики приводит к улучшению точности определения констант, но при этом не происходит сужения распределения по энергиям. На рис. 16 показаны распределения по энергии кластеров после калибровки, когда для нахождения констант была использована вся статистика и треть статистики.

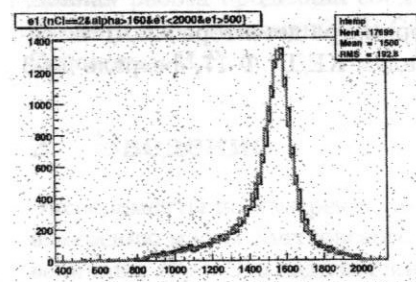


Рис. 15: Распределение по энергиям кластеров после калибровки, проведенной по 1/3 событий. Синий – реконструированы события, использованные для калибровки, красный и зеленый – другие события

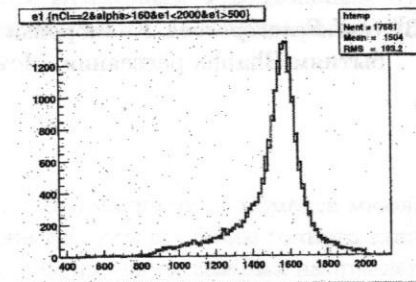


Рис. 16: Распределение по энергиям кластеров после калибровки. Синий – для калибровки использована вся статистика, красный – 1/3 статистики

В связи с этим, недостаток статистики и малая статистическая точность определения констант в эксперименте не может считаться причиной плохого разрешения после калибровки данных эксперимента.

6 Заключение

Работоспособность программы калибровки калориметра проверена на моделировании. Проведена калибровка CsI калориметра по экспериментальным данным (эксперимент по измерению массы J/Ψ). Результаты калибровки моделирования и эксперимента не согласуются. Экспериментальное разрешение 3.6% в 1.7 раза хуже, чем разрешение в моделировании (2.1 %). Планируется работа с новыми данными, калибровка LKг калориметра.

Список литературы

- [1] *Y. Kubota et al*, Nucl. Instr. Methods A320(66)1992.
- [2] *Yu. I. Skovpen*, Calibration of Calorimeter with Bhabha Events. BaBar Note # 356, 1997.
- [3] *О.Л. Белобородова*, Калибровка калориметра детектора КЕДР по событиям Bhabha рассеяния. Меморандум КЕДР Ф-17, февраль 2003

Прототип дрейфовой камеры детектора КМД-3

Горбачев Д.А.¹

Аннотация

В статье описаны конструкция прототипа дрейфовой камеры детектора КМД-3 и результаты проведенных с ним измерений. Приведены данные по тестированию новой электроники.

1 Соавторы

Данная работа проделана совместно с Игнатовым Ф.В., Поповым А.С., Рубаном А.А., Охалкиным В.С., Пивоваровым С.Г., Сибидановым А.Л., Снопковым И.Г.

2 Введение

Эксперименты по измерению аномального магнитного момента мюона и измерению массы Хиггсовского бозона требуют все более точного знания величины $R(s)$. Эта задача станет одним из важных направлений экспериментов на новом коллайдере ВЭПП-2000, создаваемом в ИЯФ, где энергия в СЦМ будет увеличена до 2 ГэВ. Это позволит более подробно изучить структуру резонансов, являющихся возбуждениями легких векторных мезонов (ρ, ω, ϕ). Для этой цели изготавливается детектор КМД-3. Одним из важнейших узлов детектора является дрейфовая камера, предназначенная для измерения импульсов и координат заряженных частиц. Подробно проект детектора и, в том числе, камеры изложен в препринте [1]. В данное время эксплуатируется ее прототип для тестирования новой электроники, создания нового программного обеспечения и исследования особенностей работы проволок вблизи границы рабочего объема камеры. Ниже приводятся основные результаты работы с прототипом.

¹ Аспирант 2 года, руководитель д.ф.-м.н., зав.лаб. Хазин Б.И.

3 Техническое описание прототипа

3.1 Механическая конструкция

Макет ДК имеет цилиндрическую форму и состоит из обечайки и двух фланцев, соединенных четырьмя длинными шпильками, как показано на Рис.1.

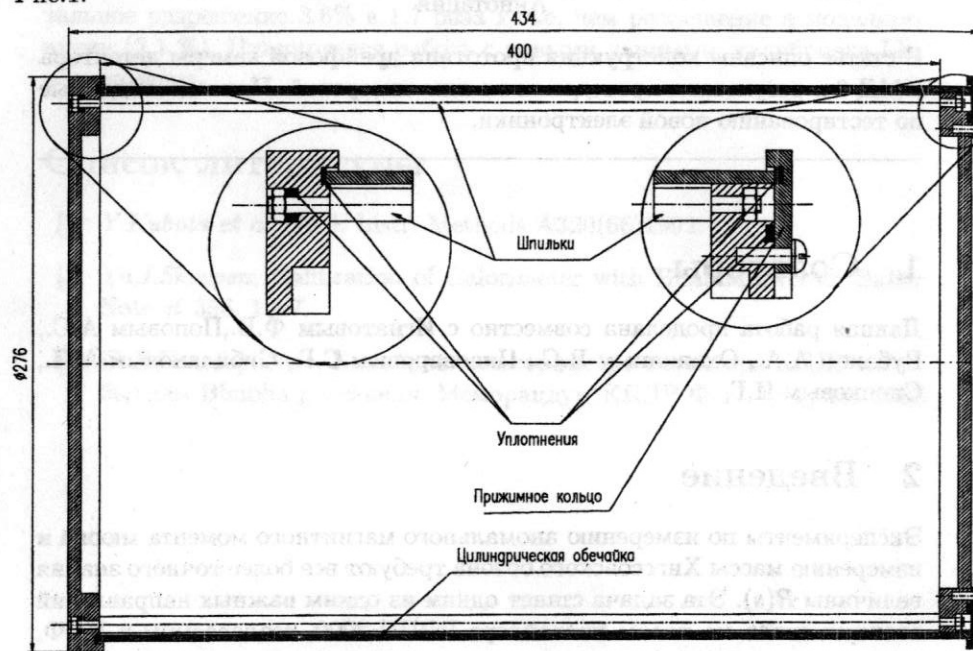


Рис. 1: Сборочный чертеж макета дрейфовой камеры.

Обечайка и фланцы сделаны из дюралюминия, а шпильки из стали. Все стыки герметизируются с помощью прокладок из вакуумной резины.

Чертеж левого фланца с картой отверстий под вводы для крепления провололок показан на Рис. 2. На верхней части чертежа показано крепление плоской пластины, идущей вдоль провололок. Эта пластина установлена для изучения влияния на коэффициент газового усиления и процессы дрейфа в условиях близких к тем, что будут в реальной камере на внешних и внутренних слоях провололок. Она расположена на расстоянии 7.5 мм от ближайшего слоя полевых провололок.

Форма ячейки представляет собой квадрат со стороной 15 мм, в углах

и серединах сторон которого расположены полевые провололки с отрицательным потенциалом. Всего в камере 64 ячейки, 32 из которых оборудованы считывающей электроникой. Координата поперек провололок определяется по времени дрейфа, вдоль – методом деления заряда. Сигнальные провололки диаметром 15 мкм изготовлены из W-Re сплава с золотым покрытием и натянуты с усилием 20 г. Они имеют сопротивление $1.08 \cdot 10^3$ Ом/м и находятся под нулевым потенциалом. Полевые провололки диаметром 100 мкм изготовлены из золоченого титана и натянуты с усилием 100 г. Чертеж ввода для крепления провололки на фланцах камеры показан на Рис.3. Внутренние диаметры медных трубок, использованных для изготовления вводов сигнальных и полевых провололок, составляют 100 и 200 мкм соответственно. Газовая система макета,

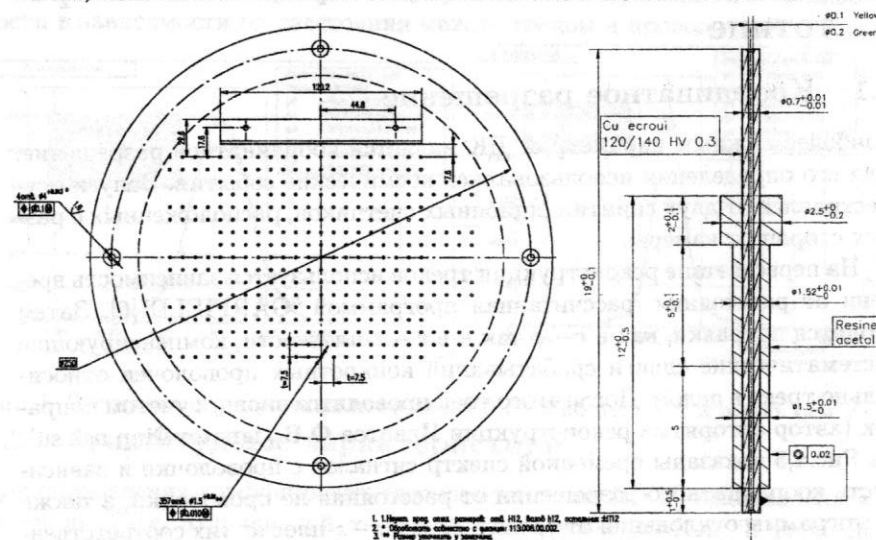


Рис. 2: Левый фланец.

Рис. 3: Чертеж ввода для крепления провололок.

способная поддерживать постоянный расход и процентный состав двухкомпонентной газовой смеси, состоит из баллонов с газами, манометров и редукторов, задающих необходимый диапазон давлений, а также расходомеров (Bronkhorst), поддерживающих заданную величину расхода компонент смеси с точностью не хуже 0.5%. Основная часть измерений производилась на смеси аргон:изобутан в соотношении 80:20.

3.2 Электроника управления прототипом

Для управления прототипом, оцифровки и сбора данных используется электроника, выполненная в стандартах КАМАК и КЛЮКВА [2, 3]. Для предварительного усиления сигналов служат предусилители. Сигналы оцифровываются в платах Т2А [4], которые работают в режиме с общим стопом. Также изучался прототип новой платы Т2Q, подробнее описанный ниже.

Программное обеспечение для обслуживания прототипа и обработки данных разработано для операционной системы LINUX.

4 Основные результаты, полученные на прототипе

4.1 Координатное разрешение

Наиболее важным параметром ДК является координатное разрешение. Для его определения использовались космические события. Запуск осуществлялся от двух сцинтилляционных счетчиков, расположенных с разных сторон от камеры.

На первом этапе реконструкции треков используется зависимость времени от расстояния, рассчитанная программой "GARFIELD" [6]. Затем вводятся поправки, как в $r-\phi$ так и в $r-z$ -плоскости, компенсирующие систематические сдвиги срабатываний конкретных проволочек относительно трека в целом. После этого трек проводится вновь, с учетом поправок (автор алгоритма реконструкции Игнатов Ф.В., ignatov@inp.nsk.su). На Рис.4,5 показаны временной спектр сигналов с проволочки и зависимость координатного разрешения от расстояния до проволочки, а также гистограммы отклонений от трека в $r-\phi$ и $r-z$ -плоскостях соответственно. Полученные $\sigma_{r-\phi} = 120$ мкм и $\sigma_{r,z} = 2-5$ мм, удовлетворяют проектным условиям. В таблице 1 приведены вклады различных факторов, определяющих разрешение в $r-\phi$ -плоскости. Разрешение по координате вдоль проволочки согласуется с расчетом, опирающимся на измеренное амплитудное разрешение электроники, $\sigma_{r-z} \sim \sqrt{2}\sigma_A/A \sim 1.4 \cdot 13./500 \sim 2.6\%$.

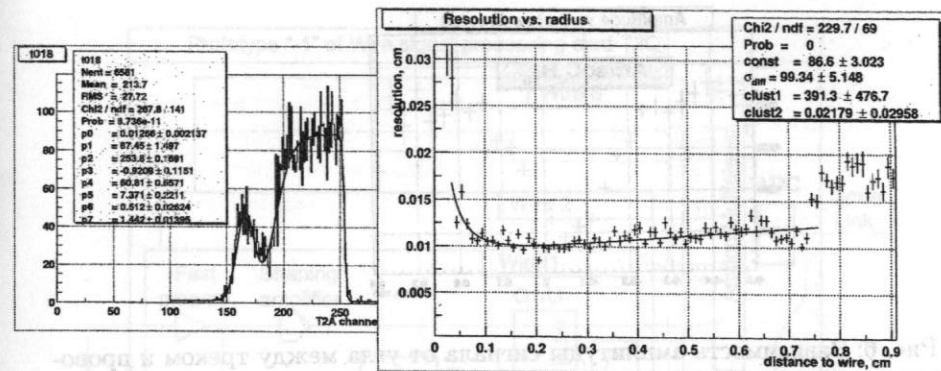


Рис. 4: Временной спектр сигналов с проволочки. Разрешение в $r-\phi$ плоскости в зависимости от расстояния между треком и проволочкой.

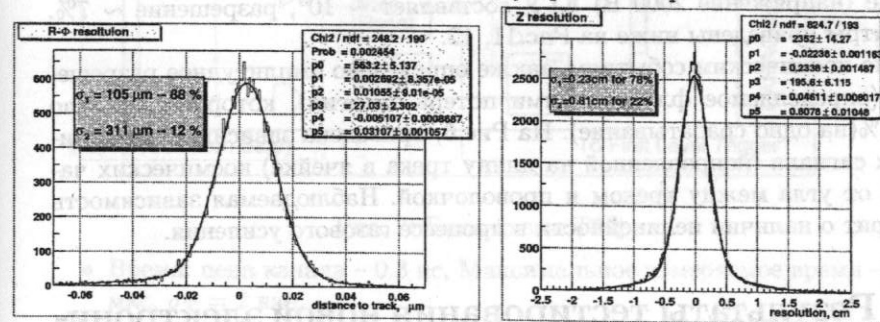


Рис. 5: Точности определения координат в плоскости $r-\phi$ и вдоль оси Z.

4.2 Амплитудные характеристики

Для определения коэффициента газового усиления (КГУ) использовался источник ^{55}Fe , излучающий γ -кванты в энергии 5.9 КэВ. В рабочей

	нс	МКМ
Триггер	1.5	75
Дискретность	0.7	35
Дифф. нелин.	0.5	25
Slewing(2кан)	1.4	70
Диффузия	$100\sqrt{l}(\text{см})$	

Таблица 1: Вклады в координатное разрешение в $r-\phi$ -плоскости. Вклад диффузии определен согласно результатам работы [5].

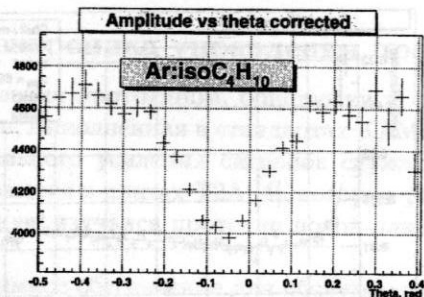


Рис. 6: Зависимость амплитуды сигнала от угла между треком и проволокой (0 на рисунке соответствует трекам, которые перпендикулярны проволочкам).

точке (напряжение 2000 В) КГУ составляет $\sim 10^5$, разрешение $\sim 7\%$. Спектры приведены ниже на Рис.11, 12.

По космическим событиям, также определено амплитудное разрешение (определяемое флуктуациями потерь энергии), которое составило $\sim 25\%$ (на одно срабатывание). На Рис.6, приведена зависимость амплитуды сигнала (поправленной на длину трека в ячейке) космических частиц от угла между треком и проволокой. Наблюдаемая зависимость говорит о наличии нелинейности в процессе газового усиления.

5 Результаты тестирования новой электроники

Макет платы T2Q выполнен в стандарте КАМАК и установлен на выноске для доступа к элементам схемы и уменьшения наводок при обмене данными по магистрали КАМАК.

Блок схема платы приведена на Рис.7 (Разработчиком платы является А.А.Рубан, ruban@inp.nsk.su).

Основная идея, использованная при проектировании T2Q – перевод всех измеряемых величин (времени, заряда) в напряжение на запоминающих емкостях и оцифровка с одновременной передачей результата по последовательному каналу непосредственно в ЭВМ.

5.1 Калибровки

Основные параметры платы:

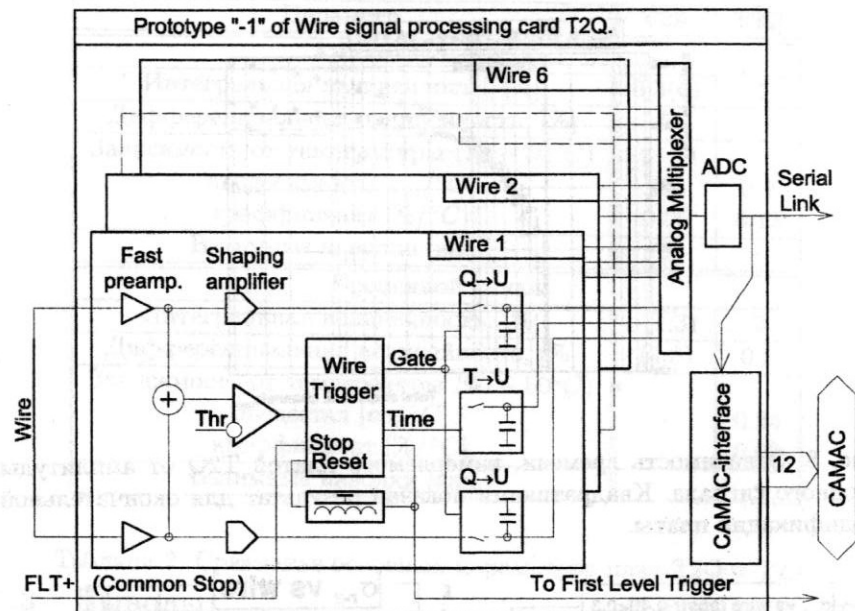


Рис. 7: Блок-схема T2Q.

- Время: цена канала – 0.3 нс, Максимальное измеряемое время – 1.2 мкс, $\sigma_T = 2$ кан.
- Амплитуда: цена канала $25 \cdot 10^3 e^-$, 12 разрядов, $\sigma_A = 2 - 3$ кан.

Цена амплитудного канала выбрана исходя из двух конкурирующих эффектов: для хорошего разрешения по координате вдоль проволочки требуется достаточно низкая цена канала, с другой стороны, необходимо иметь достаточно большой динамический диапазон для правильной регистрации сигнала от заряженных каонов.

Порог, который удается установить (частота шумовых срабатываний ~ 10 Гц), составляет 5-6 каналов, что соответствует $\sim 1e^-$.

На Рис.8 приведена зависимость измеряемого времени от амплитуды. Для амплитуд $10^2 - 10^3$ каналов² время меняется на ~ 1.5 нс, т.е. в ~ 5 раз меньше, чем для платы T2A.

Были также изучены дифференциальная и интегральная нелинейности T2Q, а также зависимость основных параметров от температуры.

²Здесь и в таблице 2, используются так называемые “нормализованные” каналы. Цена такого канала $5000 e^-$.

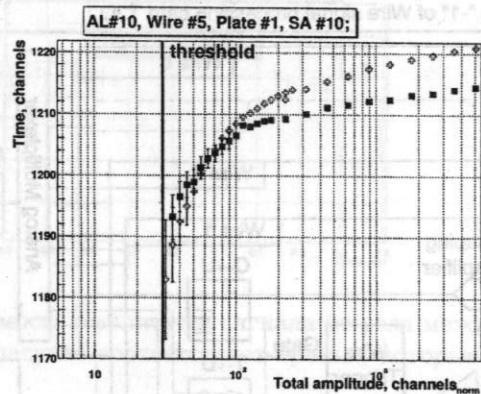


Рис. 8: Зависимость времени, измеряемого платой T2Q от амплитуды входного сигнала. Квадратиками показан результат для окончательной модификации платы.

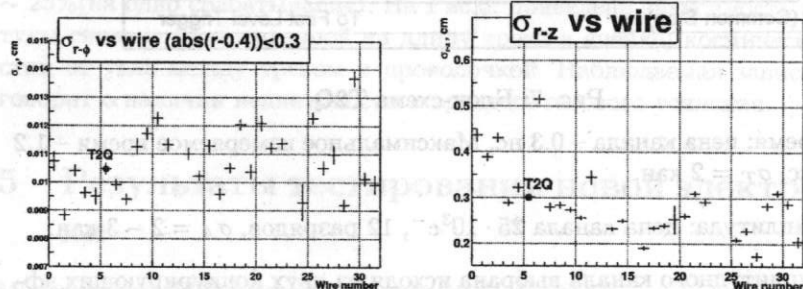


Рис. 9: Сравнение координатных разрешений для проволочек с оцифровкой платой T2Q и платами T2A. Жирной точкой показана T2Q.

Результаты приведены в таблице 2.

5.2 Космические события

Сравнение разрешений для проволочек, оборудованных T2Q с проволочками, оборудованными T2A, приведено на Рис.9. Видно, что новая плата не хуже, чем T2A.

Параметр	T2A	T2Q
Амплитудный канал		
Интегральная нелинейность, [%]	0.3(6)	2
Дифференциальная нелинейность, [%]	5	-
Зависимость от температуры (20 – 50°C)		
пьедестал [$ch_{norm}/^{\circ}C$]	225	0.4
коэффициент [%/ $^{\circ}C$]	0.05	0.15
Взаимные наводки [кан.]	5	-
Временной канал		
Интегральная нелинейность, [%]	-(1.3)	2
Дифференциальная нелинейность, [%]	(4.8)	0.5
Зависимость от температуры (20 – 50°C)		
пьедестал [$ns/^{\circ}C$]	-	0.24
коэффициент [%/ $^{\circ}C$]	-	0.08
Взаимные наводки [кан.]	-	-

Таблица 2: Сравнение основных параметров плат T2Q и T2A.

5.3 Выводы

По результатам тестирования платы T2Q можно сделать вывод, что она вполне пригодна для использования в качестве оцифровывающей электроники новой ДК детектора КМД-3.

6 Ячейки вблизи обечайки

Для моделирования условий работы ячеек вблизи обечайки, как уже говорилось выше, была сделана плоскость, расположенная вблизи последнего ряда проволочек. Из-за ее наличия, если не предпринимать дополнительных мер, падает КГУ на сигнальных проволочках. Для подавления этого эффекта были рассмотрены следующие варианты:

1. Увеличение отрицательного потенциала (U_1) на полевых проволочках крайних ячеек.
2. Установка дополнительного положительного потенциала (U_2) на сигнальные проволочки крайних ячеек.
3. Установка высоковольтного экрана (U_{sh}).

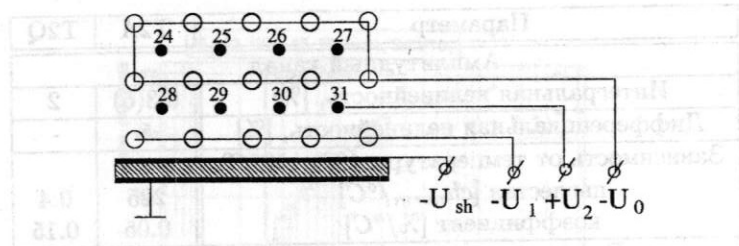


Рис. 10: Различные варианты подключения высокого напряжения. (Не

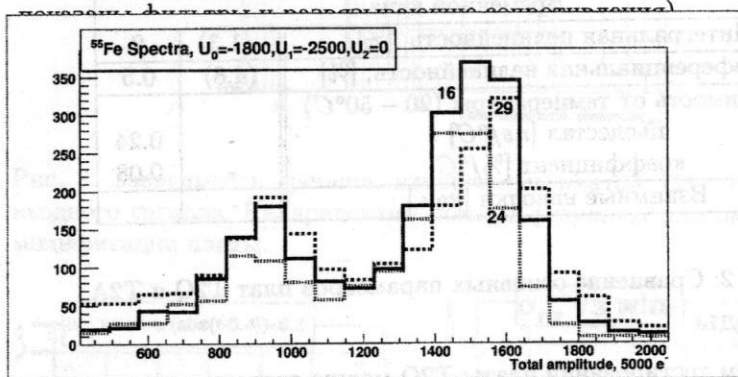


Рис. 11: Спектры ^{55}Fe при повышенном напряжении на крайнем слое полевых проволочек.

Схема возможных подключений показана на рис.10. Спектры от источника ^{55}Fe для разных вариантов подключения показаны на Рис. 11, 12.

Первый вариант влечет за собой увеличение напряженности поля на поверхности полевых проволочек до 60 кВ/см, что больше предельной напряженности, после которой начинается коронный разряд (~30 кВ/см). Соответственно, необходимо увеличить диаметр проволочек, что достаточно сложно из-за проблем с изготовлением вводов для крепления проволочек.

Второй вариант достаточно сложен в реализации, т.к. необходимо распаять заметное количество дополнительных элементов на торцах камеры, где и без них достаточно плотный монтаж.

Наиболее приемлемым является вариант с высоковольтным экраном. Также понадобится установка дополнительных полевых проволочек того же диаметра (100 мкм) в наиболее близких к обечайке местах.

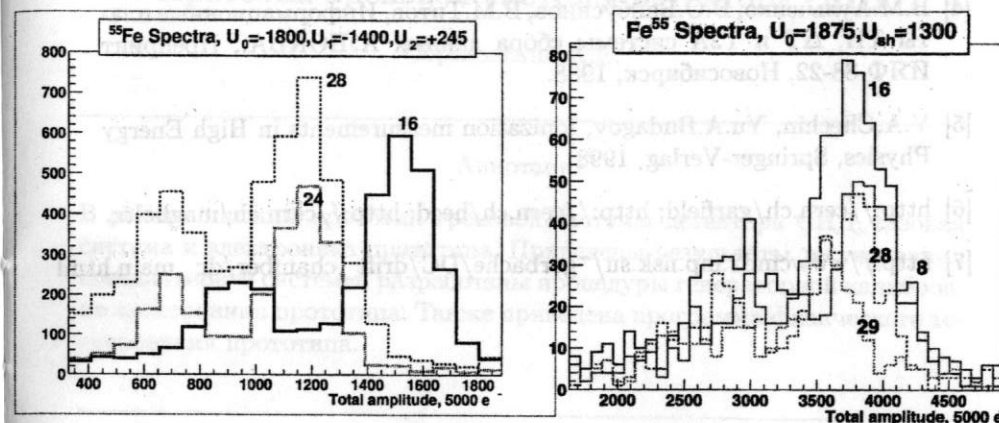


Рис. 12: Спектры ^{55}Fe при наличии положительного потенциала на сигнальных проволочках и при подключенном высоковольтном экране.

7 Выводы и планы

В результате проделанной работы на прототипе были получены проектные разрешения, протестирована новая электроника, выбраны режимы для подавления краевых эффектов. В данный момент для новой камеры изготовлены фланцы, внешняя обечайка, вводы для крепления проволочек, подготовлены окончательные чертежи для сверления отверстий.

В следующем году планируется произвести окончательную сборку камеры и начать натяжение проволочек. На прототипе предполагается работа с новой 16-ти канальной платой T2Q.

Детальный отчет о работе можно найти в [7].

Список литературы

- [1] В.М. Аульченко, Р.Р.Ахметшин, В.Ш.Банзаров, Проект детектора КМД-2М, Препринт ИЯФ 2001-45, Новосибирск, 2001.
- [2] В.М.Аульченко, С.Е.Бару, Г.А.Савинов, Электроника новых детекторов ИЯФ, Препринт ИЯФ 88-29, Новосибирск, 1988.
- [3] С.Е.Бару, В.С.Кириченко, Г.А.Савинов и др., Служебные блоки системы сбора данных КЛЮКВА, Препринт ИЯФ 88-26, Новосибирск, 1988.

- [4] В.М.Аульченко, Б.О.Байбусинов, В.М.Титов, Информационные платы ТП, ΔT и Т2А системы сбора данных КЛЮКВА., Препринт ИЯФ 88-22, Новосибирск, 1988.
- [5] V.A.Chechin, Yu.A.Budagov, Ionization measurements in High Energy Physics, Springer-Verlag, 1998.
- [6] <http://cern.ch/garfield>; <http://cern.ch/heed>; <http://cern.ch/magboltz>.
- [7] http://wwwcmd2.inp.nsk.su/~gorbache/DC/drift_chamber/dc_main.html

Прототип трековой системы детектора СНД

Образовский А.Е.¹

Аннотация

В работе описаны прототип трековой системы детектора СНД, газовая система и электроника прототипа. Приведены результаты тестирования стенда газовой системы, разработаны процедуры генераторной калибровки электроники прототипа. Также приведена программа физического тестирования прототипа.

1 Введение

В связи с созданием нового электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-2000 [1] проводится модернизация детекторов СНД [2] и КМД-2М [3]. В рамках модернизации детектора СНД создается новая трековая система (ТС). Для проверки работоспособности конструкции ТС и измерения характеристик изготовлен прототип.

Целями данной работы являются:

1. Разработка газовой системы (ГС) для новой трековой системы, создание и подготовка стенда ГС для работы с прототипом.
2. Создание и настройка стенда электроники для проведения тестирования прототипа.
3. Разработка программ генераторной калибровки оцифровывающей электроники.

¹Магистрант 2 года НГУ, руководитель д.ф.-м.н., зав. лаб. 3-1 ИЯФ СО РАН Середняков С.И.

2 Общее описание трековой системы и прототипа

Для экспериментов с детектором СНД на ВЭПП-2000 необходимо создание новой трековой системы по причине несовместимости предыдущего варианта конструкции трековой системы [4] и конструкции места встречи пучков нового коллайдера.

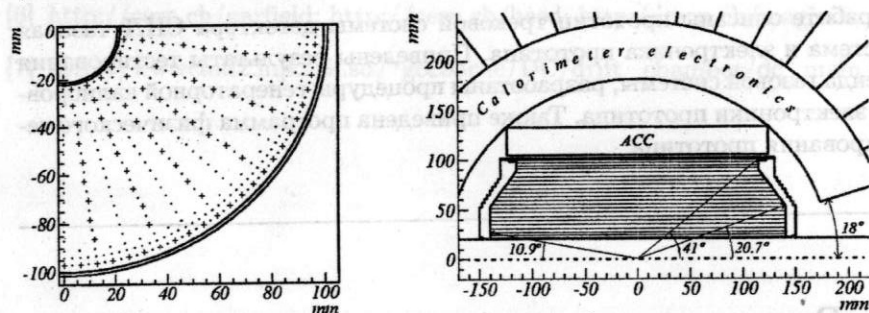


Рис. 1: Слева — сегмент трековой системы в плоскости, перпендикулярной оси пучков. Анодные проволоочки обозначены крестиками, полевые и экранирующие — точками. Справа — проекция трековой системы вдоль оси пучков. Показано расположение системы идентификации частиц на основе аэрогелевых черенковских счетчиков и электроники первого слоя калориметра.

С учетом всех требований к трековой системе выбран вариант конструкции, состоящий из дрейфовой камеры (ДК) с ячейкой струйного типа и пропорциональной камеры (ПК), расположенных в едином газонаполненном объеме (рис. 1). Дрейфовая камера состоит из 24 ячеек струйного типа, каждая ячейка содержит 9 чувствительных проволочек. Азимутальный угловой размер ячейки — 15° , радиальный размер дрейфового слоя — 8 мм. Для разрешения «лево-правой» неоднозначности чувствительные проволочки одного дрейфового слоя попарно сдвинуты в азимутальном направлении навстречу друг другу на 300 мкм. Пропорциональная камера расположена вблизи внешней обечайки и состоит из 2 слоев проволочек и катодных полосок. Расстояние между катодом и анодом — 3 мм. В качестве второго катода используется внутренняя медная поверхность обечайки, сегментированная вдоль оси пучков на полоски шириной 6 мм. Между внешним слоем ДК и ПК расположен экранирующий слой проволочек. Диаметр чувствительных проволочек ДК и

анодных проволочек ПК — 15 мкм, полеформирующих и экранирующих проволочек — 100 мкм. Отличие конструкции прототипа от конструкции ТС состоит в том, что дрейфовая и пропорциональная камеры прототипа занимают $\frac{1}{4}$ газового объема. Проектные значения координатного и углового разрешения получены из моделирования. Основные проектные параметры ТС и прототипа приведены в табл. 1.

Параметр	ТС	П
Длина	300 мм	
Внутренний диаметр	40 мм	
Внешний диаметр	200 мм	
Телесный угол, $\Omega/4\pi$	0.94	0.235
Число дрейфовых слоев ДК	9	
Число дрейфовых ячеек ДК	24	6
Число катодных полосок ПК	280	70
Проектное координатное разрешение ДК		
σ_x (время дрейфа)	150 мкм	
σ_z (метод деления заряда)	1.5 мм	
Проектное координатное разрешение ПК		
σ_z (катодные полоски)	0.3–0.6 мм	
Проектное угловое разрешение ТС		
Азимутальный угол φ , σ_φ	0.18°	
Полярный угол θ , σ_θ	0.3°	
Разрешение по dE/dX , $\frac{\sigma_{dE/dX}}{\langle dE/dX \rangle}$	25 %	

Таблица 1: Проектные параметры трековой системы (ТС) и прототипа (П).

3 Газовая система

В качестве рабочего газа в трековой системе СНД и в прототипе будет использоваться смесь $90\%Ar + 10\%CO_2$. Для приготовления рабочей газовой смеси, снабжения ей трековой системы в режиме непрерывного продува с расходом $\approx 0.1 - 5.5 \text{ см}^3/\text{с}$ и контроля качества рабочего газа разработана газовая система. Для работы с прототипом изготовлен стенд газовой системы, схема которого приведена на рис. 2. Рабочий газ создается смешиванием потоков Ar и CO_2 . Важнейшими элементами си-

стемы являются управляемые компьютером контролеры газового потока фирмы Bronkhorst [5], используемые для регулировки и контроля газовых потоков. С помощью 2 пропорциональных камер, расположенных на входе газового тракта в трековую систему и выходе из нее, производится измерение коэффициента газового усиления в рабочей смеси, которое позволит проводить мониторинг качества рабочего газа в трековой системе. Для управления газовой системой автором написана программа на языке С.

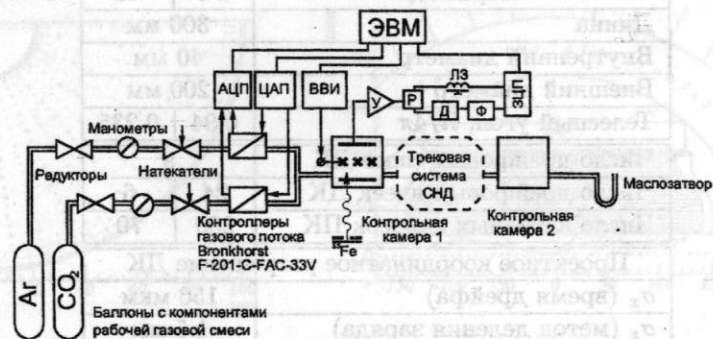


Рис. 2: Схема стенда газовой системы. АЦП — аналогово-цифровой преобразователь, ЗЦП — зарядово-цифровой преобразователь, ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь, ВВИ — высоковольтный источник напряжения, У — усилитель катодного сигнала, Р — разветвитель, Д — дискриминатор, Ф — формирователь, ЛЗ — линия задержки. ВВИ, ЗЦП, АЦП, ЦАП, дискриминатор, формирователь выполнены в стандарте КА-МАК, разветвитель и линия задержки выполнены в стандарте ВИШНЯ.

4 Электроника прототипа

Измерение координат в прототипе и в трековой системе будет проводиться следующими методами:

- Координата в плоскости, перпендикулярной оси пучков, измеряется по времени дрейфа ионизации в ячейке дрейфовой камеры.
- Координата вдоль оси пучков измеряется методом деления заряда (по соотношению зарядов, собранных на концах чувствительных проволочек ДК).

- Координата вдоль оси пучков также измеряется методом центра тяжести (по распределению зарядов, наведенных на катодные полоски ПК).

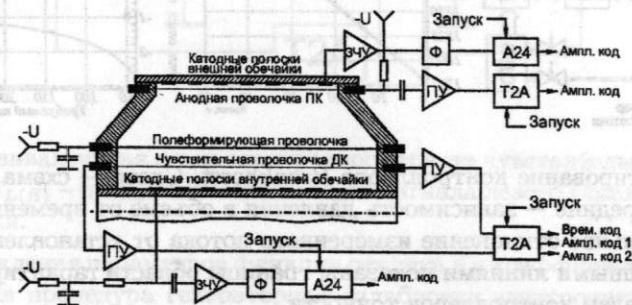


Рис. 3: Схема электроники прототипа. ПУ — предусилители, ЗЧУ — зарядочувствительные предусилители, Ф — формирователи. Формирователи, платы Т2А и А24 выполнены в стандарте КЛЮКВА.

Для измерения сигналов с прототипа будет использоваться схема электроники, показанная на рис. 3. Время дрейфа ионизации и заряды, собираемые на концах проволочек ДК, измеряются с помощью плат Т2А [6] в стандарте КЛЮКВА. Заряды, наведенные на катодные полоски, измеряются с помощью плат А24, [7] также выполненных в стандарте КЛЮКВА. В экспериментах с прототипом будут измеряться сигналы с 2 центральных секторов ДК и с пропорциональной камеры прототипа. Подготовлен стенд электроники прототипа, состоящий из 5 плат Т2А и 4 плат А24.

5 Результаты тестирования газовой системы

Для проверки точности контроллеров Bronkhorst проведен тест по следующей схеме. Поток рабочего газа, устанавливаемый с помощью контроллера, направлялся в герметичный объем (рис. 4, слева): С помощью датчика давления проводилось измерение скорости роста давления в объеме (рис. 4, посередине), которая в модели идеального газа пропорциональна потоку. Измерения проводились с аргоном и углекислым газом в диапазоне потоков 30–300 мл/мин. Во всех измерениях относительное отклонение измеренного потока от установленного потока (рис. 4, справа) находится в области гарантированной производителем контроллеров

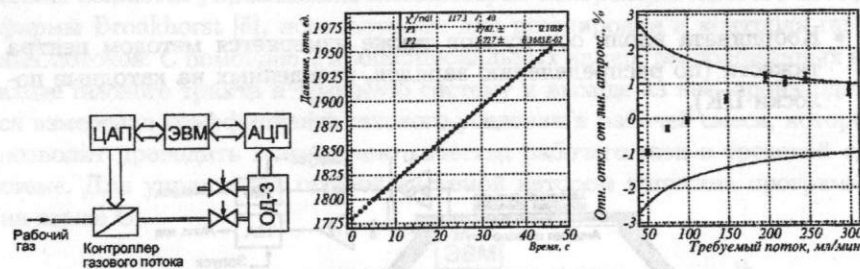


Рис. 4: Тестирование контроллеров Bronkhorst. Слева — схема эксперимента, посередине — зависимость давления в объеме от времени, справа — относительное отклонение измеренного потока от установленного потока. Сплошными линиями показаны границы области гарантированной производителем контроллеров точности.

точности. Результат тестов: контроллеры обеспечивают заданный газовый поток с точностью 2%. При этом стабильность концентрации CO_2 в рабочей смеси составляет 0.3%, что соответствует стабильности коэффициента газового усиления 3–5% [8].

6 Генераторная калибровка электроники прототипа

6.1 Калибровка электроники провололочек

Для измерения координаты методом деления заряда по формуле

$$\frac{z}{l} = \frac{\beta_R Q_R - \beta_L Q_L}{Q_L + Q_R},$$

l — длина чувствительной проволоочки ДК, необходимо знать собранные на левом и правом концах проволоочки заряды Q_L, Q_R и коэффициенты β_L, β_R , зависящие от электрических параметров цепи, изображенной на рис. 5.

Заряды можно определить по амплитудным кодам Т2А, для чего необходимо знать функцию отклика электронного тракта f :

$$A = f(Q, \vec{a}), \text{ где } A \text{ — амплитудный код Т2А,}$$

$$\vec{a} \text{ — набор параметров функции отклика,}$$

$$Q = f^{-1}(A, \vec{a}).$$

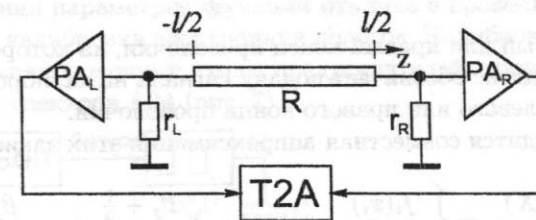


Рис. 5: Эквивалентная схема электронного тракта чувствительных провололочек. $PA_{L(R)}$ — предусилители токового сигнала левого (правого) конца проволоочки.

Для нахождения параметров функции отклика \vec{a} и коэффициентов β_L, β_R проводится процедура генераторной калибровки электроники провололочек. Схема калибровки показана на рис. 6.

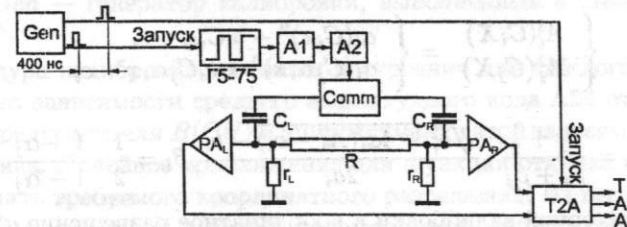


Рис. 6: Генераторная калибровка электронных трактов чувствительных провололочек. Gen — генератор калибровки, $Comm$ — коммутатор, $A1$ и $A2$ — аттенюаторы. Генератор калибровки, аттенюаторы, коммутатор выполнены в стандарте КАМАК.

Калибровочные сигналы подаются последовательно на калибровочные входы предусилителей левого и правого концов проволоочки. Производится набор амплитудных спектров Т2А. Процедура калибровки состоит в следующем. Для каждого электронного тракта строится зависимость среднего амплитудного кода Т2А от заряда на входе предусилителя при подаче калибровочного сигнала на ближний и дальний концы проволоочки $A_i^j(C_i X_k)$ и $A_j^i(C_j X_k)$, $i = L(R), j = R(L)$, где C — емкость калибровочного входа, X — амплитуда калибровочного сигнала. Нижний индекс у амплитудного кода A обозначает левое или правое положение электронного тракта (соответствующее левому или правому концу проволоочки), у емкости C — левое или правое положение предусилителя, у

заряда Q — левый или правый конец проволоочки, на которой собран заряд. Верхний индекс обозначает подачу сигнала на калибровочный вход предусилителя левого или правого конца проволоочки.

Затем проводится совместная аппроксимация этих зависимостей

$$\begin{cases} A_i^i(C_i X) \\ A_i^j(C_j X) \end{cases} = \begin{cases} f_i(x_i) \\ f_i(\frac{C_j}{C_i} \alpha_i x_i) \end{cases}, x_i = X \frac{\beta_j + \frac{1}{2}}{\beta_i + \beta_j}, \alpha_i = \frac{\beta_j - \frac{1}{2}}{\beta_j + \frac{1}{2}}.$$

Использование линейного приближения для функции отклика не обеспечивает достаточной точности определения координаты (вклад генераторной калибровки в координатное разрешение $\sigma_z^c \sim 10$ мм). Проведено исследование качества нескольких вариантов аппроксимации, в результате выбрана квадратичная функция. Процедура калибровки при этом приобретает следующий вид: построение и совместная аппроксимация

$$\begin{cases} A_i^i(C_i X) \\ A_i^j(C_j X) \end{cases} = \begin{cases} a_i(C_i x)^2 + b_i C_i x + c_i \\ a_i(C_j \alpha_i x)^2 + b_i C_j \alpha_i x + c_i \end{cases},$$

$$Q_i = \frac{\beta_j + \frac{1}{2}}{\beta_i + \beta_j} \cdot \frac{\sqrt{b_i^2 + 4a_i(A_i - c_i)} - b_i}{2a_i}, \beta_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 + \alpha_j}{1 - \alpha_j}.$$

Вклад генераторной калибровки в координатное разрешение $\sigma_z^c \sim 1$ мм.

6.2 Калибровка электроники полосок

Для измерения продольной координаты методом центра тяжести по формуле

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i z_i}{\sum_{i=1}^n Q_i},$$

z_i — продольная координата центра i -й полоски, необходимо знать наведенные на катодные полоски заряды Q . Как и в случае плат Т2А, заряд определяется по амплитудному коду А24, для чего необходимо знать функцию отклика электронного тракта g :

$$B = g(Q, \vec{b}), \text{ где } B \text{ — амплитудный код А24,}$$

$$\vec{b} \text{ — набор параметров функции отклика,}$$

$$Q = g^{-1}(B, \vec{b}).$$

Для нахождения параметров функции отклика \vec{b} проводится процедура генераторной калибровки электроники полосок. Калибровочные сигналы подаются на калибровочные входы предусилителей, производится набор амплитудных спектров А24 (рис. 7).

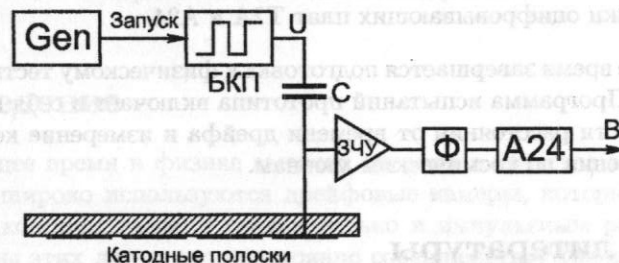


Рис. 7: Схема генераторной калибровки электронных трактов катодных полосок. Gen — генератор калибровки, выполненный в стандарте КА-МАК.

Процедура калибровки состоит в построении для каждого электронного тракта зависимости среднего амплитудного кода А24 от от заряда на входе предусилителя $B(CU)$ и аппроксимации этой зависимости функцией отклика. Линейное приближение для функции отклика не позволяет обеспечить требуемого координатного разрешения. Из нескольких вариантов аппроксимации выбрана аппроксимация кубической функцией. Процедура калибровки при этом приобретает следующий вид: построение и аппроксимация

$$B(CU) = a(CU)^3 + b(CU)^2 + c(CU) + d,$$

где C — емкость калибровочного входа тракта, U — амплитуда калибровочного сигнала.

Процедуры генераторной калибровки электроники проволоочек и полосок реализуются программами, написанными автором на языке С.

7 Заключение

Основные результаты, полученные в работе:

1. Разработана и изготовлена газовая система, позволяющая изготавливать двухкомпонентную рабочую газовую смесь. Система обеспечивает точность установления газовых потоков 2%.

2. Осуществлена сборка и настройка стенда электроники для проведения тестирования прототипа ТС СНД.
3. Разработаны процедуры и написаны программы генераторной калибровки оцифровывающих плат T2A и A24.

В настоящее время завершается подготовка к физическому тестированию прототипа. Программа испытаний прототипа включает в себя калибровку зависимости расстояния от времени дрейфа и измерение координатного разрешения по космическим мюонам.

Список литературы

- [1] Yu.M. Shatunov, A.V. Evstigneev, D.I. Ganyushin et al., "Vienna 2000, EPAC 00" 439.
- [2] Г.Н. Абрамов, В.М. Аульченко, М.Н. Ачасов и др., Препринт ИЯФ 2001-29. Новосибирск, 2001.
- [3] В.М. Аульченко, Р.Р. Ахметшин, В.Ш. Банзаров и др., Препринт ИЯФ 2001-45. Новосибирск, 2001.
- [4] M.N. Achasov, V.M. Aulchenko, S.E. Baru et al., Nucl. Instrum. and Meth. A 449 (2000) 125.
- [5] Bronkhorst Hi-Tech B.V., <http://www.bht.nl/elflowcontrollers.htm>.
- [6] В.М. Аульченко, Б.О. Байбусинов, В.М. Титов, Препринт ИЯФ 88-22. Новосибирск, 1988.
- [7] В.М. Аульченко, Л.А. Леонтьев, Ю.В. Усов, Препринт ИЯФ 88-30. Новосибирск, 1988.
- [8] F.Sauli, CERN 77-09. Geneva, 1977.

Исследование катодного старения проволочных камер

Присекин Вячеслав Геннадьевич¹

1 Введение

В настоящее время в физике высоких энергий в качестве трековых детекторов широко используются дрейфовые камеры, которые обладают хорошим координатным, а следовательно и импульсным разрешением. Параметры этих детекторов постоянно совершенствуются и сейчас пространственное разрешение больших дрейфовых камер достигло 100 мкм. В качестве примеров можно привести дрейфовые камеры детекторов для В-фабрик: ВаВаг, BELLE и дрейфовую камеру детектора КЕДР, работающего на накопителе ВЭПП-4М в институте ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН. Светимость установок на встречных пучках непрерывно увеличивается, что приводит к увеличению дозовых нагрузок в том числе и на дрейфовые камеры детекторов. В проволочных камерах в процессе набора дозы радиации происходит ухудшение рабочих характеристик, называемое старением. Причиной его являются полимеры, образующиеся в лавине в процессе газового усиления. Эти изменения ухудшают работу камеры. Соответственно явления, связанные с покрытием на аноде, называют анодным старением, а с покрытием на катоде катодным. Анодное старение приводит к снижению коэффициента газового усиления и ухудшению амплитудного разрешения. Катодное старение ведет к увеличению темнового тока, при этом камера срабатывает даже после удаления внешнего источника ионизирующего излучения. В первом случае камера остается работоспособной. Во втором случае из-за больших шумов камеру нельзя использовать. По этим причинам именно катодное старение является наиболее опасным для дрейфовых камер. В данной работе исследуется катодное старение на модели дрейфовой ячейки камеры ВаВаг.

¹ магистрант 2-го года НГУ. Руководитель: к.ф-м.н. с.н.с Блинов Владимир Евгеньевич

2 Анодное старение

В лавине вокруг анодной проволоочки кроме электронов и положительных ионов также образуются свободные радикалы – нейтральные частицы с одним или несколькими неспаренными электронами. По этой причине они крайне неустойчивы и быстро реагируют с другими молекулами или радикалами, образуя более крупные молекулы. Образующиеся в результате этого полимеры оседают на поверхности анодной проволоки, образуя на ней покрытие. Так как радикалы обладают большим дипольным моментом, то в неоднородном поле анода они притягиваются к нему и увеличивают толщину покрытия. За счет покрытия увеличивается эффективный диаметр анода и, как следствие, снижается коэффициент газового усиления. Из-за неравномерности покрытия ухудшается амплитудное разрешение камеры.

Для параметризации скорости старения вводится величина:

$$R = -\frac{1}{G_0} \frac{G - G_0}{Q}, \quad (1)$$

где R – скорость анодного старения в $\% / (\text{Кл}/\text{см})$, G_0 – начальный коэффициент газового усиления, G – коэффициент усиления после набора заряда на единицу длины анодной проволоки Q . Существуют две процедуры измерения скорости анодного старения.

В первой [1] в процессе облучения камеры постоянно измеряется ток с анодной проволоочки. Его падение со временем связано с уменьшением коэффициента газового усиления. При этом скорость старения находят по формуле:

$$R = -\frac{1}{I_0} \frac{I - I_0}{Q}, \quad (2)$$

где I_0 – ток в начале облучения, I – ток при набраном заряде на единицу длины анодной проволоочки Q . У этой процедуры есть два недостатка. Первый связан с тем, что ток с анода, пропорциональный коэффициенту газового усиления, зависит от внешних условий: давления и температуры. Их изменение вносит систематическую ошибку в результат измерения. Второй недостаток связан с тем обстоятельством, что для сокращения времени, измерения проводят при большом токе анода, а следовательно при большом усилении. Как известно при большом коэффициенте газового усиления (КГУ) происходит его насыщение. Поэтому увеличение эффективного диаметра анода и нелинейная зависимость КГУ от напряжения в процессе старения будет приводить к меньшей потере усиления, чем при меньшем коэффициенте усиления, при котором обычно

работают дрейфовые камеры. В результате этого измеренная скорость старения оказывается меньше, чем на самом деле [2].

Во второй процедуре [2] камера также облучается при большом коэффициенте усиления, но измерение падения усиления проводится при меньшем напряжении, когда камера работает в пропорциональном режиме. Чтобы избавиться от систематической ошибки, связанной с зависимостью коэффициента усиления от температуры и давления, измеряются два амплитудных спектра с облученного и необлученного участков анодной проволоочки. Отношение полученных амплитуд показывает реальное падение усиления в камере. Для параметризации скорости старения вводится величина:

$$R = -\frac{1}{A_0} \frac{A - A_0}{Q}, \quad (3)$$

где A_0 – амплитуда с необлученного участка, A – амплитуда с облученного участка после набора заряда на единицу длины анодной проволоки Q .

Скорость анодного старения зависит от многих факторов: состава газовой смеси, материала проволоочек и их диаметра, используемых конструкционных материалов, скорости продувки и т.д. В случае использования в качестве гасящей добавки углеводородов происходит их полимеризация в лавине. Однако при использовании неполимеризующегося CO_2 было также обнаружено старение, хотя и более медленное [3]. При этом в отложениях на проволоках наблюдали соединения серы, кремния и других элементов, которые не присутствовали в рабочей газовой смеси [3]. В этом случае происходила полимеризация примесей, неконтролируемо попадающих в рабочий газ. Подтверждением этого служит тот факт, что при проведении тестов по старению в чистых условиях были получены малые скорости старения [3]. По своему влиянию на скорость старения примеси можно разделить на две группы. Примеси первой группы увеличивают скорость старения. Примеси второй группы либо не влияют, либо уменьшают скорость старения и являются в этом смысле хорошими. Очень хороший обзор по анодному старению камер можно найти в работе [3].

3 Катодное старение

В отличие от анодного старения катодное менее изучено, хотя представляет больший интерес с точки зрения срока эксплуатации камер. Катодное старение также связано с процессами полимеризации, происходя-

щими в лавине в процессе газового усиления. Молекула полимера, получившая положительный заряд, дрейфует в направлении катода. Там она нейтрализуется и может остаться на его поверхности. В результате этого на катоде образуется плохо проводящая полимерная пленка. На ее поверхность оседают положительные ионы из лавины, создавая двойной заряженный слой. Так как толщина пленки мала, то в ней появляется электрическое поле большой напряженности и работа выхода электронов с поверхности металла снижается. Эмиссионные электроны дрейфуют к аноду, дают там лавины, а положительные ионы из лавин поддерживают заряд на катодной пленке. Процесс становится самоподдерживающимся и в камере течет темновой ток даже после прекращения внешнего облучения. Эти темновые токи называются Мальтеровскими токами или Мальтер-эффектом (МЭ).

4 Постановка задачи

Данное исследование было инициировано проблемами, возникшими в ДК детектора ВаВаг. Целью работы являлось исследование порога возникновения МЭ при облучении камеры. Было изучено влияние различных загрязнений поверхности катодной проволоки на порог возникновения МЭ. Необходимость исследования влияния различных загрязнений на порог возникновения МЭ связана с тем, что в процессе изготовления и эксплуатации ДК на поверхность проволоки могут попадать различного рода неконтролируемые загрязнения и вызывать быстрое появление МЭ. Такого рода загрязнения могут быть: изоляционный лак, мелкие капли вакуумного масла, отпечатки пальцев. Вышеупомянутые загрязнения были исследованы в данной работе. Кроме загрязнений ранний МЭ могут вызывать различные дефекты на отдельных участках проволоки. Здесь возможны две причины. Обсудим их более подробно.

Острия на поверхности проволоки собирают на себе силовые линии электрического поля (Рис. 1). С некоторой большой площади S_1 , с характерным размером порядка высоты острия, на малую площадь острия S_2 приходит ток положительных ионов. В результате этого плотность тока положительных ионов и положительно заряженных полимерных молекул на поверхности острия в $\frac{S_1}{S_2}$ раз больше, чем на соседних участках проволоки. Поэтому скорость роста пленки пропорциональна напряженности поля на поверхности и может во много раз превосходить скорость роста покрытия на соседних участках поверхности проволоки. Характерное значение средней напряженности электрического поля на поверх-

ности катодной проволоки равно 20 кВ/см, при этом на конце острия оно может достигать значения порядка 1 МВ/см. Поэтому именно на поверхности острия в первую очередь достигаются условия при которых начинается МЭ. Для проверки этого механизма было предложено использовать свет от лавины вокруг анодной проволоочки. В случае МЭ с острий светиться будет один или несколько участков на аноде. В случае же МЭ со всей поверхности катодной проволоки светиться будет вся анодная проволока.

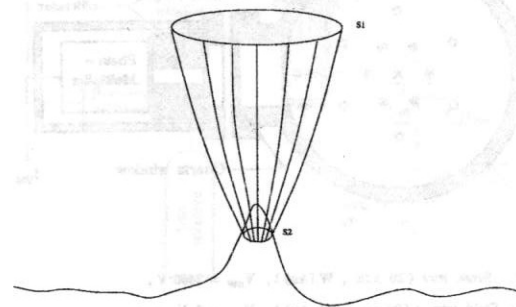


Рис. 1: Плотность тока на поверхности острия на катодной проволоке гораздо больше чем на соседних участках в $\frac{S_1}{S_2}$ раз.

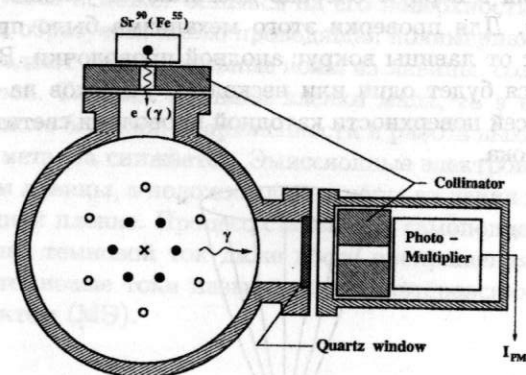
Кроме острий на проволоке могут присутствовать другие дефекты, например, не покрытые золотом участки поверхности проволоки. В случае алюминиевой проволоки, использованной в данной работе, и некоторых других металлов на их поверхности в воздухе образуется тонкая окисная пленка, имеющая большое удельное сопротивление, которая может, в принципе, привести к раннему МЭ. Для проверки влияния дефектов золочения на возникновение МЭ на поверхность катодной проволоки в вакууме было напылено алюминиевое покрытие, на котором в процессе натяжения камеры в воздухе образовалась окисная пленка Al_2O_3 толщиной порядка 100 Å.

5 Описание установки

Для исследования катодного старения была изготовлена модель дрейфовой камеры содержащая одну гексагональную ячейку (Рис. 2), аналогичную ячейке, используемой в ДК детектора ВаВаг.

По центру трубы из нержавеющей стали с внутренним диаметром 60

Cross section of the test chamber



- x - Sense wire (20 μm , W (Au)), $V_{\text{SW}} = 2400$ V,
- o - Field wire (120 μm , Al (Au)), $V_{\text{FW}} = 0$ V,
- o - Shield wire (150 μm , Ti (Au)), $V_{\text{SB}} = 2060$ V.

Gas mixture - (80 : 20) He-isobutane.

Рис. 2: Вид дрейфовой ячейки.

мм натянута анодная проволока. На радиусе 10 мм в виде правильного шестиугольника натянута 6 катодных проволок. На радиусе 20 мм от центра натянута 6 экранных проволок тоже в виде правильного шестиугольника, но повернутого на 30 градусов. В большинстве измерений были использованы анодная и катодная проволоки, используемые на ДК детектора ВаВаг. Анодная проволока позолоченая из вольфрамового сплава диаметром 20 мкм, катодная - позолоченая из алюминиевого сплава диаметром 120 мкм. Экранные проволоки были сделаны из позолоченного титана диаметром 150 мкм. В камере имеется два бериллиевых окна для облучения ячейки изотопами Sr^{90} и Fe^{55} . Напротив одного из окон расположено кварцевое окно для наблюдения света из лавины (Рис. 3). Участок ячейки напротив кварцевого окна просматривается коллимированным фотоумножителем ФЭУ-84. Схема высоковольтного питания камеры показана на Рис. 4. Напряжение от двух высоковольтных источников положительной полярности подается на анодную

Experimental setup

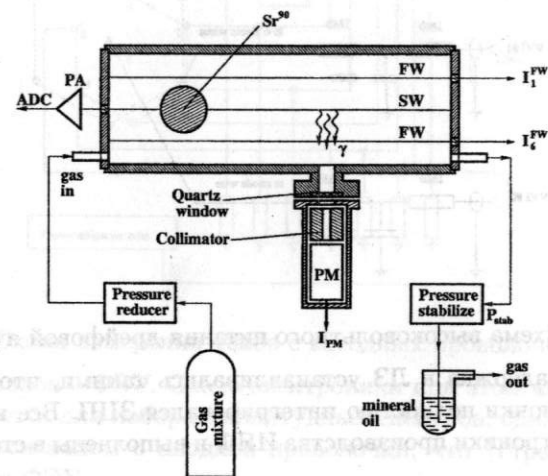


Рис. 3: Схема установки.

и экранные проволочки. Катодные проволочки заземлены. Для сглаживания возможных пульсаций напряжения питания и устранения внешних наводок использовались два Т-образных фильтра нижних частот ($R=1\text{МОм}$, $C=2200\text{пф}$).

Модель дрейфовой ячейки продувалась газовой смесью гелий-изобутан (80/20). Схема газовой системы показана на Рис. 3. Газовая смесь из баллона под давлением 10 атмосфер через газовый редуктор поступает в камеру. Расход газа регулируется натекателем. Из камеры смесь через масляный затвор выбрасывается в атмосферу.

Схема электроники для набора амплитудных спектров с анодной проволочки показана на Рис. 5. Сигнал с анодной проволочки через разделительный конденсатор поступает на вход предусилителя (ПУ). Усиленный сигнал после ПУ по витой паре в экране идет в блок ТА. Там он дополнительно усиливается, разветвляется и один сигнал поступает на дискриминатор, логический импульс с которого поступает на выход Т блока ТА, а другой поступает на выход А. Амплитудный сигнал с блока ТА проходит через линию задержки (ЛЗ) и поступает на вход зарядно-цифрового преобразователя (ЗЦП). Время интегрирования входного сигнала в ЗЦП определяется длительностью импульса на входе управления ЗЦП. Для формирования этого импульса используется формирователь импульсов (ФИ), управляемый сигналом с выхода Т блока ТА. Длительность им-

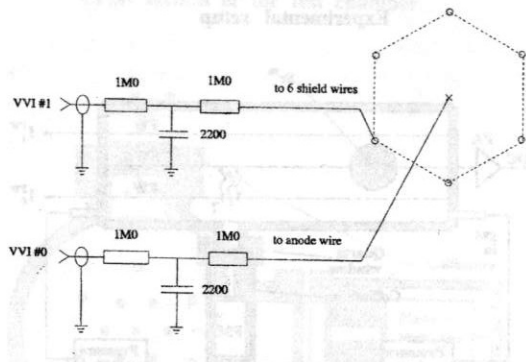


Рис. 4: Схема высоковольтного питания дрейфовой ячейки.

пульса ФИ и задержка в ЛЗ устанавливались такими, чтобы сигнал с анодной проволоочки полностью интегрировался ЗЦП. Все использованные блоки электроники производства ИЯФ и выполнены в стандарте КА-МАК.

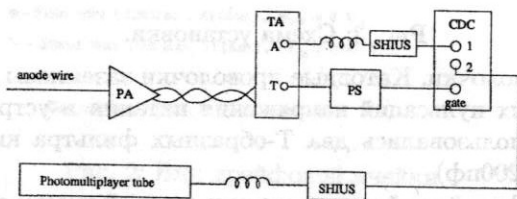


Рис. 5: Схема электроники для набора амплитудных спектров сигналов с проволоочки и ФЭУ (PS-формирователь импульсов Л0311, SHIUS-усилитель ШИУС-60, CDC-ЗЦП Ц0312).

В процессе облучения ячейки изотопом Sr^{90} непрерывно производится измерение токов с каждой из катодных проволоочек и запись их в файл для дальнейшей обработки. Схема, использованная для этих измерений, показана на Рис. 6. Ток измеряется по падению напряжения на резисторе с известным сопротивлением порядка 10МОм. Падение напряжения измеряется интегрирующим вольтметром АЦПИ ЛИПА. Для этого каждое из сопротивлений поочередно коммутируется с блоком ЛИПА коммутатором аналоговых сигналов КАС-128Г. Подобным образом измеряется и ток с ФЭУ.

Сигнал с ФЭУ может обрабатываться двумя способами. Кроме вышеуказанного измерения тока имеется возможность измерять амплитудные

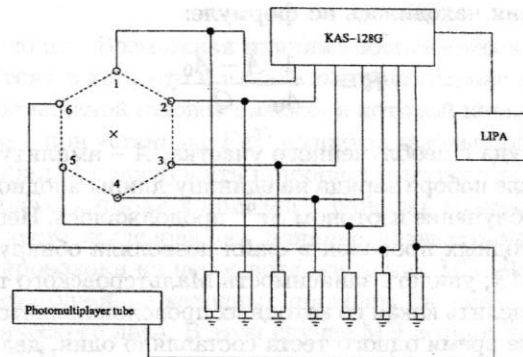


Рис. 6: Схема измерения токов с катодных проволоочек и ФЭУ.

спектры сигналов с ФЭУ. Схема электроники при этом аналогична той, что используется для набора амплитудных спектров, однако запуск осуществляется сигналом с анодной проволоочки, что устраняет шумовые срабатывания ФЭУ.

6 Измерение старения камеры

Измерения старения камеры выполнялись по следующей схеме. Изотоп Fe^{55} устанавливался по очереди на оба бериллиевых окна и набирались амплитудные спектры в двух местах анодной проволоочки. Далее вычислялось отношение амплитуд A/A_0 , полученное из амплитудных спектров. Здесь A_0 – это амплитуда с необлученного окна, а A – амплитуда с облученного окна. Полученное отношение несколько отличалось от 100 % из-за механических неточностей в расположении проволок и присутствия кварцевого окна, искажающего электрическое поле в ячейке. После этого КГУ в камере увеличивался с 2.8×10^4 до 1.4×10^6 и на облучаемое окно ставился коллиматорный изотоп Sr^{90} . В процессе облучения в файл непрерывно записывались токи с катодных проволок. Периодически (через сутки или несколько) изотоп Sr^{90} убирался, вычислялся набранный заряд на единицу длины анодной проволоочки и в пропорциональном режиме измерялись амплитудные спектры Fe^{55} с облученного и необлученного участков. Полученные спектры фитировались Гауссом и находилось положение максимума для каждого из спектров. Отношение полученных амплитуд, характеризует уменьшение коэффициента газового усиления.

Скорость старения находилась по формуле:

$$R = -\frac{1}{A_0} \frac{A - A_0}{Q}, \quad (4)$$

где A_0 – амплитуда с необлученного участка, A – амплитуда с облученного участка после набора заряда на единицу длины анодной проволоочки Q . После этого облучение изотопом Sr^{90} продолжалось. Непрерывная запись токов с катодных проволок в файл позволяла обнаружить момент возникновения МЭ, увидеть зависимость Мальтеровского тока от времени, а также определить какая из катодных проволок является источником МЭ. Характерное время одного теста составляло один, два месяца.

7 Результаты измерений

В радиационных тестах было исследовано влияние различных загрязнений катодной проволоочки на порог возникновения МЭ с газовой смесью He/iC_4H_{10} (80/20). Результаты этих измерений изложены ниже. После каждого радиационного теста проводилась замена анодной проволоочки и всех или части катодных. Экранные проволоочки не заменялись.

В первом тесте по старению была использована анодная проволока из вольфрам-рениевого сплава диаметром 28 мкм. Катодная и экранная проволоки из медненого титана покрытого золотом диаметром 150 мкм. В этом тесте сразу после начала облучения изотопом Sr^{90} возник МЭ, который проявлялся как остаточный ток после удаления изотопа. При этом на осциллографе наблюдались импульсы малой амплитуды, идущие с высокой частотой. Токи с каждой из катодных проволок в зависимости от времени показаны на Рис. 7. Нумерация проволок слева направо сверху вниз. Ток на каждой катодной проволочке до возникновения МЭ от изотопа Sr^{90} составляет 10 нА. Видно, что остаточный ток был на группе соседних проволок. Токи с третьей и пятой проволок примерно одинаковы и составляют 50 нА, ток с четвертой проволоки выше и в начальный момент равен 100 нА. Токи со всех проволок уменьшаются со временем. Похожее поведение Мальтеровского тока впервые было обнаружено в работе [4]. Объяснение этого явления связано с тем, что при бомбардировке положительными ионами пленка нагревается, уменьшается ее сопротивление, за счет этого заряд на пленке также понижается и соответственно снижается ток Мальтеровской эмиссии. Источником Мальтеровских электронов служила четвертая проволока, а ток на третьей и пятой проволоках связан с диффузией электронов в лавине вокруг

анодной проволоочки. Возможная причина возникновения раннего МЭ в этом тесте состоит в том, что в начале теста по ошибке камера продувалась плохо перемешанной газовой смесью, в которой концентрация изобутана была мала и при установке Fe^{55} возникал газовый разряд. Горевший около часа разряд мог послужить причиной быстрого роста полимерной пленки на катодах, которая и привела к раннему возникновению МЭ.

В третьем тесте исследовалось влияние диэлектрического загрязнения катодной проволоки на порог возникновения МЭ. Для этого на участок поверхности одной из катодных проволок был нанесен тонкий слой кремнийорганического лака. В этом случае МЭ возник даже при облучении изотопом Fe^{55} .

На Рис. 8 приведена зависимость тока с катодной проволоки, покрытой лаком с большим временным разрешением. При этом наблюдаются периодические импульсы тока. Рассмотрим объяснение этого явления на примере правого верхнего рисунка. Вначале пленка заряжается положительными ионами, напряженность поля в ней возрастает, в некоторый момент возникает Мальтеровский ток, который нарастает со временем, однако, в некоторый момент напряженность поля превышает критическую и пленка пробивается. Мальтеровский ток при этом исчезает и процесс повторяется снова. На Рис. 8 видно, что при большем КГУ увеличивается ток зарядки пленки, а следовательно время необходимое для зарядки до напряжения пробоя уменьшается, поэтому уменьшается период следования импульсов, что согласуется с ранее изложенной моделью. В подтверждение этой модели говорит и тот факт, что после извлечения проволоочки с лаком, на ее поверхности были видны темные точки, указывающие на те места, где слой лака пробился.

В четвертом тесте проверялось влияние загрязнения катодной проволоки вакуумным маслом. В камерах причиной такого загрязнения могут служить мельчайшие капли масла из газовых затворов, оседающие на поверхности катодных проволок. В этом тесте проволочка с лаком была заменена на проволочку с тонким слоем вакуумного масла ВМ-1. Скорость анодного старения составила 380%/ (Кл/см). Уменьшение КГУ в зависимости от набранного заряда показано на Рис. 9 вверху. На этом же рисунке внизу показана зависимость амплитудного разрешения от дозы облучения. Амплитудное разрешение слабо менялось до дозы 40 мКл/см. При больших дозах наблюдалось линейное ухудшение амплитудного разрешения. В конце теста оно ухудшилось в 1.7 раз. Снижение КГУ и ухудшение амплитудного разрешения указывают на то, что идет анодное старение камеры. В этом тесте МЭ не наблюдался вплоть до набранного заряда на единицу длины анодной проволоочки 190 мКл/см.

Отрицательный результат по катодному старению в этом тесте говорит о том, что до дозы 190 мКл/см вакуумное масло не приводит к МЭ.

В пятом тесте было проверено влияние отпечатков пальцев, оставленных на поверхности катодной проволоки в процессе изготовления ДК, на порог возникновения МЭ. Для этого на одну из катодных проволок были нанесены множественные отпечатки пальцев и она была установлена в камеру. Также было исследовано влияние дефектов золочения катодной проволоки на старение камер. Материал катодной проволоки на непокрытых золотом участках окисляется на воздухе. Так как окислы большинства металлов имеют плохую проводимость, то они могут послужить причиной возникновения раннего МЭ. Для исследования этого эффекта в случае алюминиевой проволоки на одну из катодных проволок был нанесен слой алюминия толщиной порядка 400 Å.

Мальтер эффект не наблюдался вплоть до набраного заряда 130 мКл/см при КГУ = 4×10^6 .

Далее при увеличении КГУ до 2.5×10^7 в камере возник самоподдерживающийся ток при облучении Sr^{90} , который оставался после удаления изотопа. Источником МЭ была проволочка с отпечатками пальцев.

В этом тесте было исследовано поведение Мальтеровского тока в течение времени порядка суток. Зависимость Мальтеровского тока от времени в этом тесте показана на Рис. 10. Видно, что со временем эмиссионная способность катода падает и через время порядка суток МЭ полностью исчезает. Видны ступеньчатые изменения тока. Наиболее естественно такое дискретное поведение тока можно объяснить следующим образом. Вначале с нескольких острий на катодной проволоке начинается Мальтеровская эмиссия. С течением времени эмиссионная способность их постепенно падает и в некоторый момент времени для одного из них не выполняется условие поддержания тока и ток с него исчезает. В дальнейшем подобная участь может постигнуть и следующее острие. Также возможен и обратный процесс, когда с одного из нерабочих острий возникает самоподдерживающийся ток из-за случайно возросшей плотности тока, приходящего на него. На Рис. 10 видны оба этих процесса.

8 Заключение

В работе исследовано влияние различных загрязнений поверхности катодной проволоки на порог возникновения МЭ:

Обнаружено, что разряд в камере может привести к ускоренной полимеризации и быстрому возникновению Мальтер-эффекта.

Диэлектрические покрытия, подобные кремнийорганическому лаку приводят к мгновенному МЭ. В этом случае при быстром измерении токов с проволочек видна периодическая зависимость тока от времени. Причиной этого является зарядка пленки с последующим пробоем.

Влияние вакуумного масла на возникновение МЭ не обнаружено до набраного заряда на единицу длины анодной проволоочки 190 мКл/см.

Отпечатки пальцев на поверхности катодной проволоки ускоряют возникновение МЭ. В этом случае МЭ появился после набраного заряда 130 мКл/см при КГУ = 4×10^6 . Источником Мальтеровских электронов при этом служила проволочка с отпечатками пальцев.

На проволоке с алюминиевым напылением появление МЭ не обнаружено до 130 мКл/см. Таким образом влияние дефектов золочения на поверхности алюминиевой проволоки на порог возникновения МЭ до этой дозы облучения не обнаружено.

Ступеньчатое изменение Мальтеровского тока указывает на дискретный характер источников МЭ. Скачки тока при этом связаны с исчезновением и появлением Мальтеровской эмиссии на отдельных остриях.

В заключение выражаю свою благодарность моему научному руководителю Блинову Владимиру Евгеньевичу, а также Старостину Аркадию Сергеевичу, Маркову Юрию Витальевичу и Попкову Ивану Николаевичу.

Работа выполнена при поддержке УНЦ "Фундаментальные свойства материи", ФЦП "Интеграция" проект А0100.

Список литературы

- [1] *Ivanna Juricic and John A. Kadyk* IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. NS-34, No 1 February (1987) 481-485
- [2] *V.E. Blinov* Nucl. Instr. and Meth. A419 (1998) 676-679
- [3] *J. Va'vra* Nucl. Instr. and Meth. A252 (1986) 547-563
- [4] *A. Boyarsky* SLAC-PUB-9058

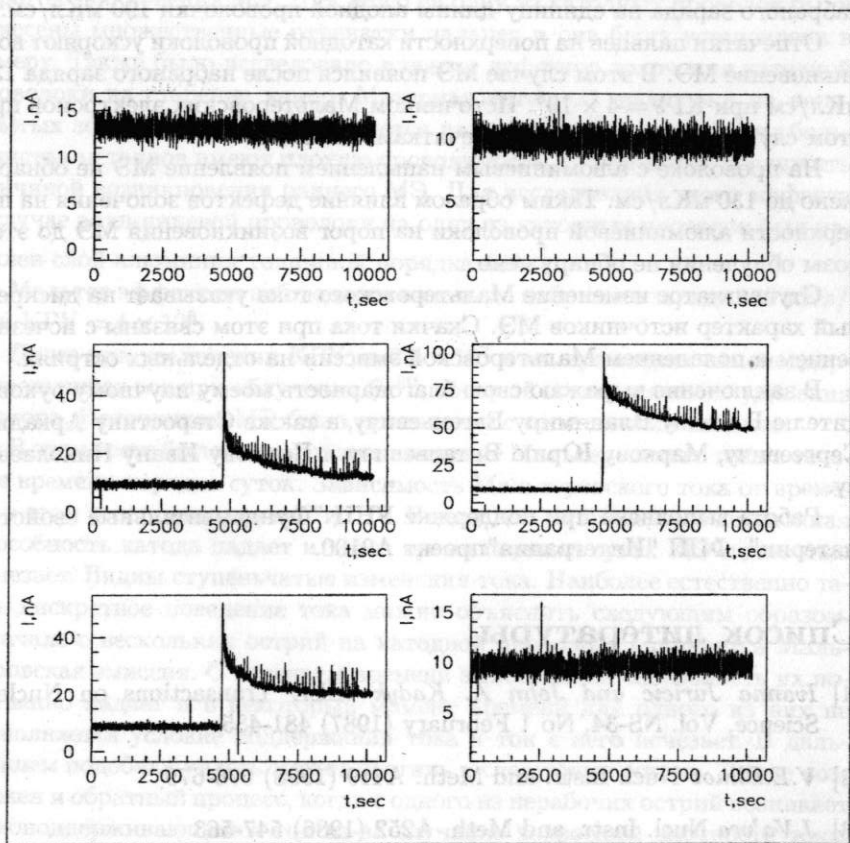


Рис. 7: Токи с катодных проволочек. Нумерация проволочек слева направо сверху вниз. Источник МЭ четвертая проволочка.

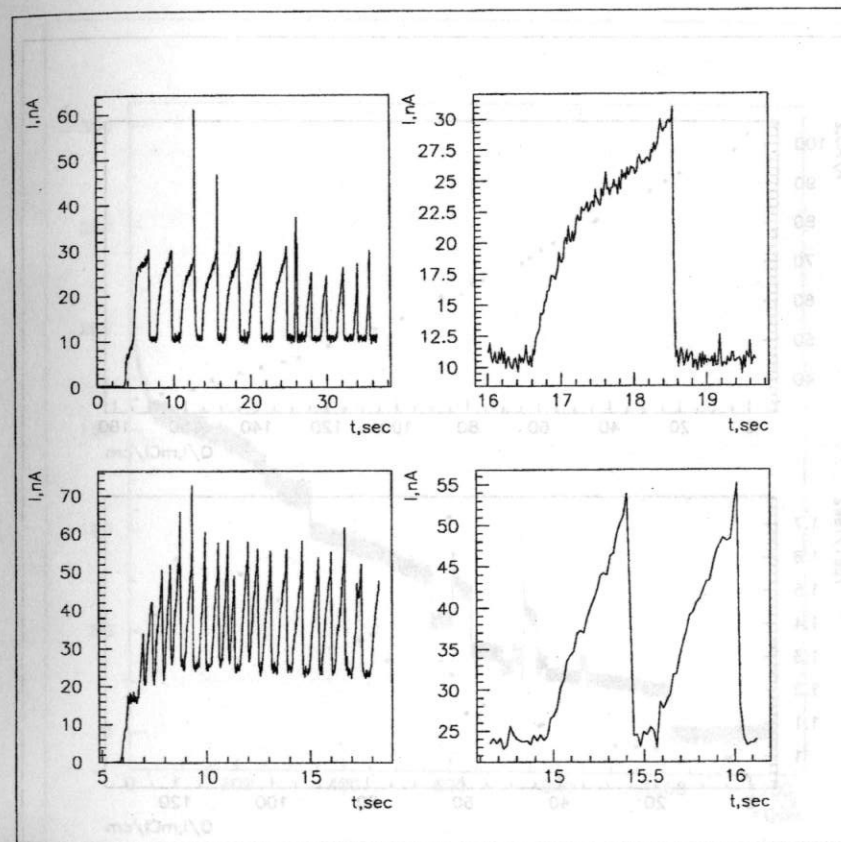


Рис. 8: Временная зависимость тока с проволочки, покрытой лаком при двух условиях измерения. Вверху - $KГУ = 7.3 \times 10^4$, $E_k = 20 кВ/см$. Внизу - $KГУ = 2 \times 10^5$, $E_k = 17 кВ/см$.

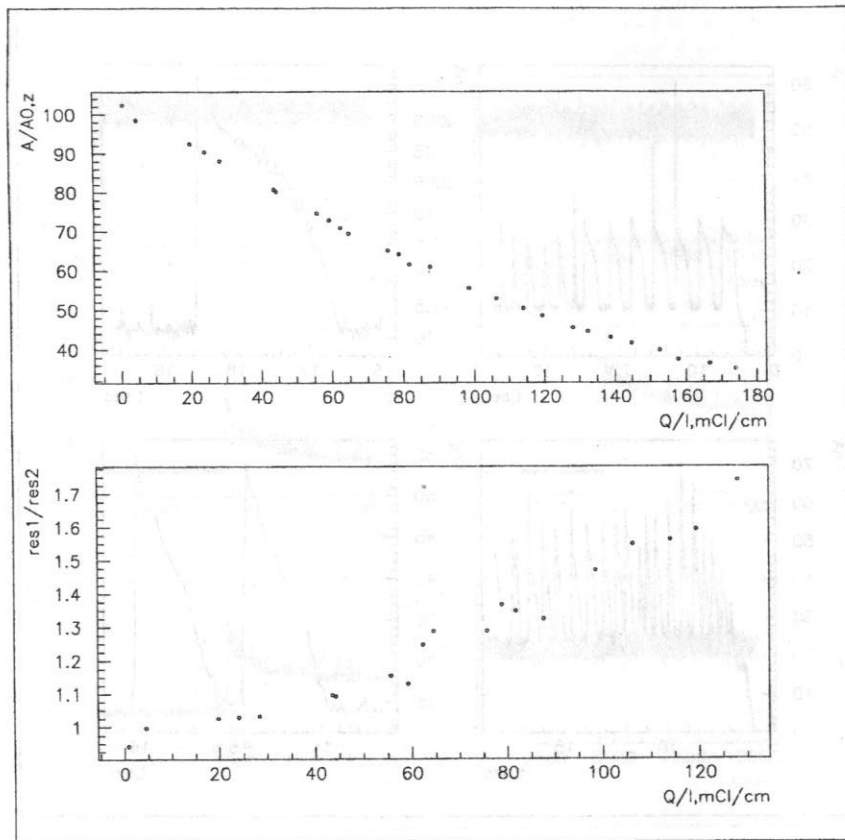


Рис. 9: Зависимость усиления и амплитудного разрешения в тесте с вакуумным маслом ($R=380\%/(\text{Кл}/\text{см})$).

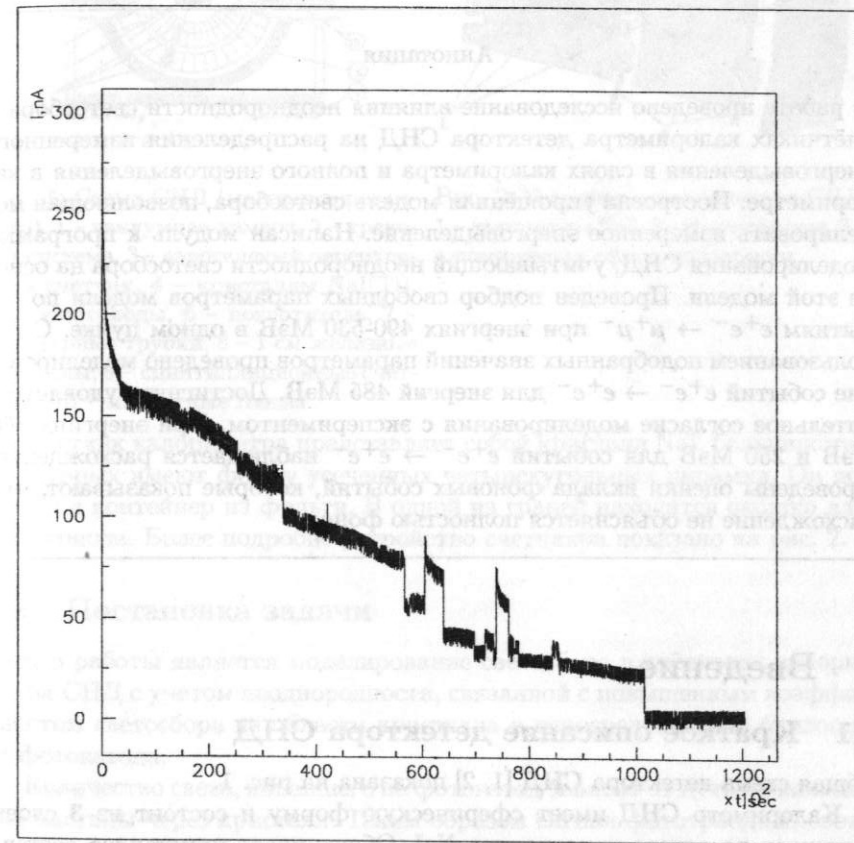


Рис. 10: Зависимость Мальтеревского тока от времени в тесте с отпечатками.

Моделирование светосбора в счетчиках калориметра детектора СНД

Штоль Дмитрий Александрович.¹

Аннотация

В работе проведено исследование влияния неоднородности светосбора в счётчиках калориметра детектора СНД на распределения измеренного энерговыделения в слоях калориметра и полного энерговыделения в калориметре. Построена упрощённая модель светосбора, позволяющая моделировать измеренное энерговыделение. Написан модуль к программе моделирования СНД, учитывающий неоднородности светосбора на основе этой модели. Проведен подбор свободных параметров модели по событиям $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ при энергиях 490-530 МэВ в одном пучке. С использованием подобранных значений параметров проведено моделирование событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ для энергий 485 МэВ. Достигнуто удовлетворительное согласие моделирования с экспериментом. При энергиях 360 МэВ и 250 МэВ для событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ наблюдается расхождение. Проведены оценки вклада фоновых событий, которые показывают, что расхождение не объясняется полностью фоном.

1 Введение.

1.1 Краткое описание детектора СНД

Общая схема детектора СНД [1, 2] показана на рис. 1.

Калориметр СНД имеет сферическую форму и состоит из 3 слоев счетчиков на основе кристаллов NaI. Общее число кристаллов составляет 1632. В каждом слое – 8 типоразмеров счётчиков². В дальнейшем типоразмеры будем нумеровать от плоскости $\theta = 90^\circ$ к краям калориметра. Для описания детектора используется сферическая система координат, ось Z направлена по оси пучка.

¹Студент 4 курса НГУ, научный руководитель к.ф.-м.н., доцент Голубев В.Б.

²В первом слое отсутствуют счётчики 8-го типоразмера.

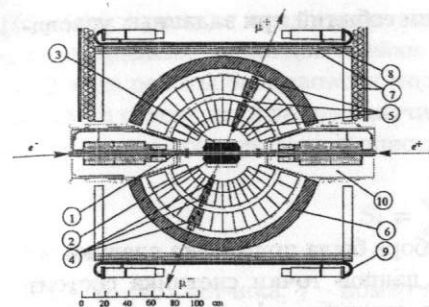


Рис. 1: Схема СНД (модернизированного). 1 – вакуумная камера, 2 – трековая система, 3 – аэрогелевый черенковский счетчик, 4 – кристаллы NaI(Tl), 5 – фототриоды, 6 – поглотитель, 7 – стримерные трубки, 8 – 1 см железные пластины, 9 – сцинтилляционные счетчики, 10 – магнитные линзы.

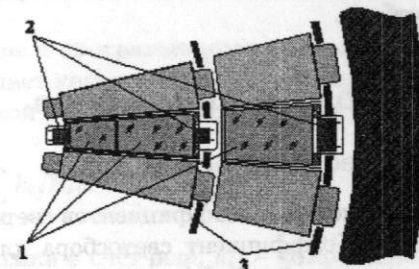


Рис. 2: Устройство калориметра СНД. 1 – кристаллы NaI, 2 – фототриоды, 3 – алюминиевая сфера поддержки.

Счетчик калориметра представляет собой кристалл NaI, большинство из которых имеют форму усеченных четырехугольных пирамид. Он помещен в контейнер из фольги. В одной из граней находится окошко для фототриода. Более подробно устройство счетчиков показано на рис. 2.

1.2 Постановка задачи

Целью работы является моделирование светосбора в счётчиках калориметра СНД с учетом неоднородности, связанной с повышенным коэффициентом светосбора из области кристалла в непосредственной близости от фотокатода.

Количество света, попавшего на фотокатод зависит от пути прохождения частицы через кристалл. Таким образом сигнал фототриода и, соответственно, измеренное энерговыделение в кристалле может оказаться различным при одном и том же истинном энерговыделении – возникают неоднородности светосбора, которые ведут к увеличению ширины распределений измеренных энерговыделений в слоях калориметра. Поэтому при моделировании сигнала калориметра необходимо учитывать неоднородности светосбора. Это имеет значение для правильного воспроизведения в моделировании распределений измеренного энерговыделения по слоям и полного энерговыделения, что в свою очередь влияет на точность

определения эффективности регистрации событий при заданных условиях отбора.

2 Модель светосбора

2.1 Теоретическая часть

Для вычисления коэффициентов светосбора была применена следующая модель. Коэффициент светосбора для данной точки счетчика состоит из двух частей: коэффициента прямого светосбора k_r и коэффициента диффузного светосбора k_{dif} . Полный коэффициент светосбора k определяется формулой:

$$k = k_r + (1 - k_r)k_{dif} \quad (1)$$

Коэффициент прямого светосбора k_r вычисляется геометрически численным интегрированием по поверхности фотокатода с учетом отражения следующим образом:

$$k_r(x, y, z) = \frac{1}{4\pi} \int_{\Omega} \frac{zT(x_0, y_0, x, y, z)}{((x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} dx_0 dy_0 \quad (2)$$

Где x_0 и y_0 - координаты точки на поверхности фотокатода, x, y, z - координаты центра ячейки (относительно центра фотокатода), $T(x_0, y_0, x, y, z)$ - коэффициент прохождения света через границу NaI и стекла. Так как коэффициент преломления NaI больше, чем у стекла, то на границе возможно полное внутреннее отражение. Вследствие этого для некоторых точек счетчика коэффициент прямого светосбора равен 0.

Коэффициент диффузного светосбора k_{dif} в рамках данной модели принимается одинаковым для всех точек кристалла и задается программой в качестве параметра для каждого типоразмера каждого слоя.

k_{dif} являются свободными параметрами модели, который необходимо подобрать так, чтобы добиться максимального соответствия моделирования и эксперимента.

2.2 Программная реализация

В настоящее время разрабатывается программа моделирования детектора СНД на основе пакета GEANT4. Она содержит, в частности, модуль, выполняющий детальное моделирование энерговыделения в кристаллах.

При этом кристалл представляется разбитым на ячейки и вычисляется энерговыделение в каждой ячейке.

В ходе работы был написан модуль к программе моделирования, который на основе этих данных вычисляет количество попавшего на фотокатод света в соответствии с описанной ранее моделью. Величину

$$S_i = \sum_{j=1}^N k_{ij} E_{ij} \quad (3)$$

где i - номер счетчика, j - номер ячейки в счетчике, k_{ij} - коэффициент светосбора для данной ячейки (по формуле (1)), E_{ij} - энерговыделение в ячейке, в дальнейшем будем называть *сигналом* счетчика i .

Результатом работы программы является файл моделированных событий в том же формате, который используется для хранения экспериментальных данных. Обработка как экспериментальных, так и моделированных событий производилась программой GIST [5].

2.3 Отбор экспериментальных событий

Для сравнения моделирования и эксперимента использовались 2 реакции: $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ (упругое рассеяние при энергиях пучка 485 МэВ) и $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ при энергии пучка 490-530 МэВ (в области ϕ - резонанса).

Отбор событий $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ из экспериментальных данных производился по следующим условиям:

- 1 В событии присутствуют 2 трека заряженных частиц, нейтральных частиц нет.
- 2 Полное энерговыделение в калориметре $E_{tot}/2E_{beam} < 0.45$, E_{beam} - энергия пучка (это условие отсеивает события $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$, которые дают большое энерговыделение, так как для электронов основным механизмом энергетических потерь являются электронно-фотонные ливни).
- 3 Срабатывание мюонной системы.
- 4 $|\Delta\theta| < 5^\circ$ и $|\Delta\phi| < 2^\circ$ - отбор событий с коллинеарными треками, в которых отсутствуют незарегистрированные частицы.
- 5 Отбор по координатам точки вылета: $|z_{1,2}| < 1$ см, $r_{1,2} < 0.2$ см для обеих частиц, где $r_{1,2}$ и $z_{1,2}$ - координаты наиболее близкой к точке столкновения пучков точки восстановленного трека частицы (подавление событий, вызванных космическими частицами)³.

³Для исключения событий, вызванных космическими частицами было бы достаточно более мягкого ограничения на z . Необходимость этого условия объясняется в разделе 2.4.

- 6 Исключение событий с треками, проходящими ближе 1° от границ счётчиков.
- 7 Энерговыделение в каждом из слоев не менее 5 МэВ – исключение событий, в которых частица попала в неисправные счётчики.

Отбор событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ из экспериментальных данных производился по следующим условиям:

- 1 В событии присутствуют 2 трека заряженных частиц, нейтральных частиц нет.
- 2 $E_{dep1}/E_{beam} > 0.7$, E_{dep1} – энерговыделение наиболее энергичной частицы.
- 3 Углы расколлинеарности $|\Delta\theta| < 5^\circ$ и $|\Delta\phi| < 2^\circ$ – для подавления событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma$, в которых фотон не регистрируется.
- 4 $|z_{1,2}| < 1$ см – необходимость этого условия объясняется в разделе 3.2

2.4 Подбор значений k_{dif}

Подбор значений k_{dif} производился по событиям $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$.

При подборе коэффициентов диффузного светосбора сравнивались распределения энерговыделения, нормированные на собственное среднее для каждого типоразмера каждого слоя. Критерием расхождения являлась величина

$$R = \sum_{i=1}^N (n_i^{exp} - mn_i^{mc})^2, \text{ где } m = \frac{\sum_{i=1}^N n_i^{exp}}{\sum_{i=1}^N n_i^{mc}} \quad (4)$$

Где n_i^{exp} и n_i^{mc} – число событий в i -м канале гистограммы соответственно в эксперименте и моделировании. Множитель m предназначен для нормировки гистограмм на одинаковую площадь.

Коэффициенты k_{dif} подбирались так, чтобы минимизировать R .

Таким способом были подобраны коэффициенты для типоразмеров 1-5. Для типоразмеров 6-8 подбор коэффициентов по мюонам затруднен, так как в имеющихся третичных файлах исключены события $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$, в которых углы $\theta_{1,2}$ лежат вне пределов $45^\circ < \theta_{1,2} < 135^\circ$. Для этих типоразмеров значения k_{dif} были приняты равными значению для 5-го типоразмера. Сравнение моделирования с экспериментом для событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ (см раздел 3.2) показывает, что это предположение оправдано.

2.5 Калибровка моделированного детектора по событиям $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$

После того, как значения k_{dif} были подобраны, производилась калибровка моделированного детектора по событиям $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$. Проводилось моделирование сигнала с детектора для мюонов без учета неоднородностей (при этом вычисляется просто энерговыделение в каждом кристалле). Для каждого типоразмера t слоя l вычислялось \overline{E}_{lt} – среднее энерговыделение, полученного при моделировании без неоднородностей и \overline{S}_{lt} – средняя величина сигнала, полученного при моделировании с неоднородностями. Калибровочный коэффициент определялся как $C_{lt}^\mu = \overline{E}_{lt}/\overline{S}_{lt}$. Тогда измеренное энерговыделение в моделировании равно:

$$E^{mc} = \sum_{k=1}^N C_{l(k)t(k)}^\mu S_k \quad (5)$$

Где $l(k)$ и $t(k)$ – соответственно номер слоя и типоразмера, в которых находится счётчик k . При такой калибровке средние энерговыделения в моделировании с неоднородностями и без них совпадают, и неоднородности светосбора влияют только на ширины распределений.

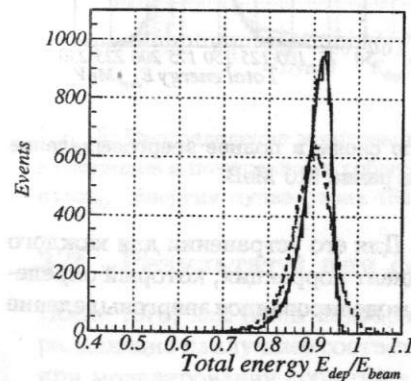


Рис. 3: Сравнение результатов моделирования полного энерговыделения для событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ для энергии 485 МэВ без неоднородностей (сплошная линия) и с неоднородностями (пунктирная линия). Гистограммы нормированы на одинаковую площадь.

3 Результаты сравнения

3.1 Результаты для событий $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$

При сравнении моделированных распределений измеренного энерговыделения, вычисленного по формуле (5) с экспериментальными обнаружива-

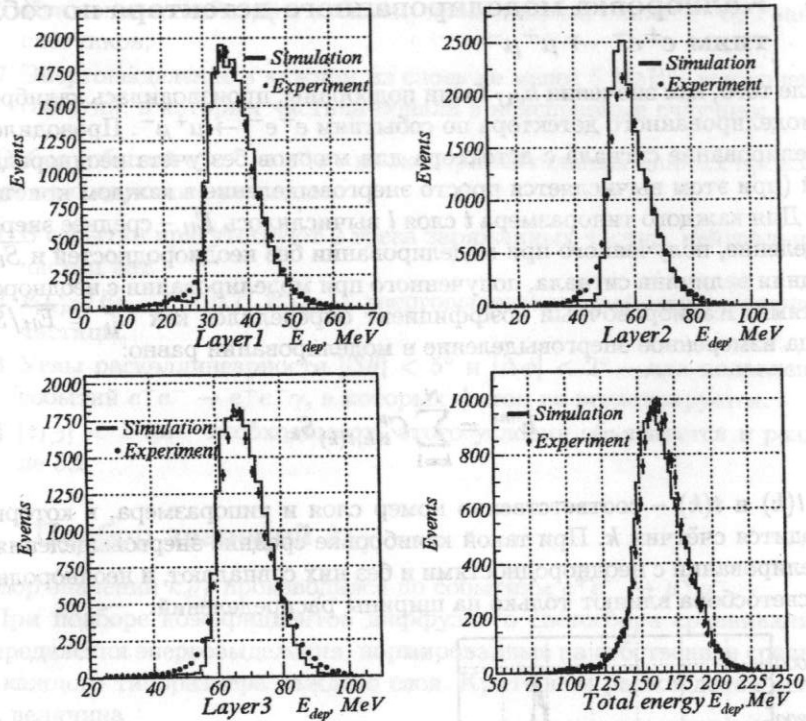


Рис. 4: Распределение энерговыделения по слоям и полное энерговыделение для событий $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$. Энергия пучка равна 510 МэВ.

есть расхождение в средних значениях. Для его устранения для каждого типоразмера t слоя l вводится коэффициент коррекции, который определяется как $K_{lt}^\mu = \overline{E_{lt}^{exp}} / \overline{E_{lt}^{mc}}$. После чего моделированное энерговыделение определяется по формуле:

$$E_{corr}^{mc} = \sum_{k=1}^N K_{l(k)t(k)}^\mu C_{l(k)t(k)} S_k \quad (6)$$

Результаты сравнения распределений E_{corr}^{mc} с экспериментом показаны на рис. 4.

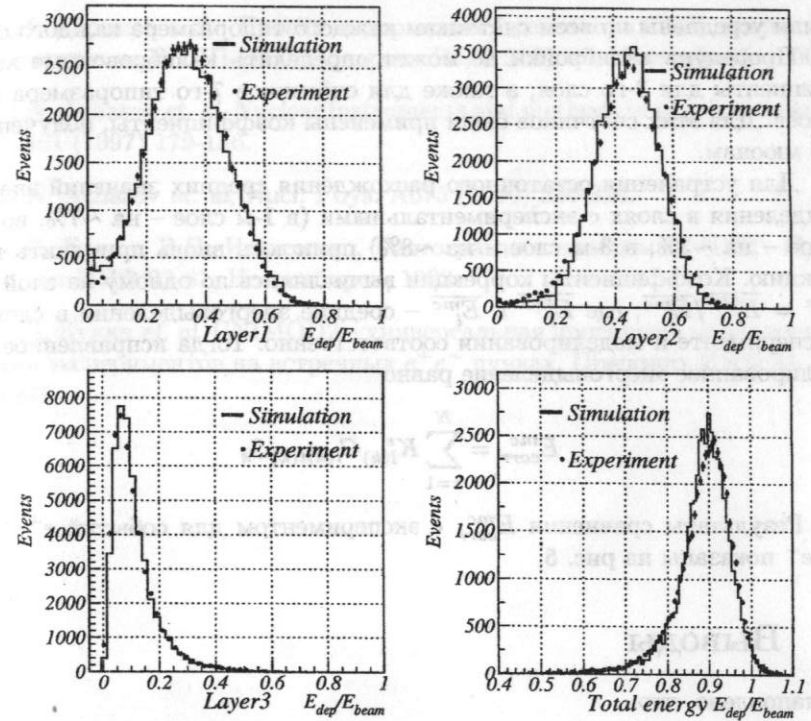


Рис. 5: Распределение энерговыделения по слоям и полное энерговыделение от электронов и позитронов в событиях $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ (нормированное на энергию пучка). Энергия пучка равна 484.9 МэВ.

3.2 Результаты для событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$

После того, как были подобраны коэффициенты диффузного светосбора, дающие наилучшее соответствие для мюонов, они были использованы при моделировании событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$. Рассматривались события с попаданием частиц в типоразмеры 1-7. Событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ с попаданием в 8-й типоразмер в эксперименте нет: они исключены на уровне первичного триггера.

По событиям $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ была произведена калибровка моделированного детектора [3]. Процедура калибровки определяет калибровочный коэффициент для каждого счётчика в отдельности, но, поскольку в моделировании все счётчики одного типоразмера одинаковы, коэффициенты

были усреднены по всем счётчикам каждого типоразмера каждого слоя.

Процедура калибровки не может определить калибровочные коэффициенты для 3-го слоя, а также для счётчиков 7-го типоразмера всех слоёв. Для этих счётчиков были применены коэффициенты, полученные по мюонам.

Для устранения остаточного расхождения средних значений энерговыделения в слоях с экспериментальными (в 1-м слое – на ~7%, во 2-м слое – на ~3%, в 3-м слое – на ~8%) пришлось вновь применить коррекцию. Коэффициенты коррекции вычислялись по одному на слой как $K_i^e = \overline{E_i^{exp}} / \overline{E_i^{mc}}$, где $\overline{E_i^{exp}}$ и $\overline{E_i^{mc}}$ – средние энерговыделения в слоях в эксперименте и моделировании соответственно. Тогда исправленное моделированное энерговыделение равно

$$E_{corr}^{mc} = \sum_{k=1}^N K_{l(k)}^e C_{l(k)t(k)} S_k \quad (7)$$

Результаты сравнения E_{corr}^{mc} с экспериментом для событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ показаны на рис. 5.

4 Выводы

Установлено, что:

- 1 Выбранная модель после подбора коэффициентов диффузного светосбора по событиям $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ даёт удовлетворительное согласие с экспериментом для этих событий после введения коррекции.
- 2 Моделирование событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ с использованием этих значений коэффициентов диффузного светосбора при энергии пучка 485 МэВ после введения коррекции даёт хорошее согласие с экспериментом.
- 3 При более низких энергиях (360 МэВ и 250 МэВ) возникает несоответствие, возможно, частично связанное с фоном событий $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$, которые при низких энергиях трудно подавить. Однако наблюдаемое расхождение не объясняется полностью фоном.

Список литературы

- [1] В.М. Аульченко и др, Сферический нейтральный детектор (СНД) для электрон-позитронного накопителя ВЭПП-2М. Препринт ИЯФ 99-16, Новосибирск, 1999.

- [2] Г.Н. Абрамов и др, Проект модернизации детектора СНД для экспериментов на ВЭПП-2000. Препринт ИЯФ 2001-29, Новосибирск, 2001.
- [3] M.N. Achasov *et al*, Nuclear instruments and methods in physics research A 401 (1997) 179-186.
- [4] M.N. Achasov *et al*, Nucl. Phys. A675 (2000) 320-324.
- [5] А.Д. Букин, В.Н. Иванченко, Гистограмная программа GIST. Препринт ИЯФ 93-81, Новосибирск, 1993.
- [6] А.Д. Букин *et al*, UNIMOD2 – универсальная программа моделирования экспериментов на встречных e^+e^- пучках. Препринт ИЯФ 84-33. 1993.

Конкурс молодых специалистов

Секция

“Физика элементарных частиц”

Доклады

Young Scientist Conference

“High Energy Physics”

Proceedings

ИЯФ 2003-72

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев

Работа поступила 4.11.2003 г.

Сдано в набор 5.11.2003 г.

Подписано в печать 6.11.2003 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 6,7 печ.л., 5,4 уч.-изд.л.

Тираж 150 экз. Бесплатно. Заказ № 72

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

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.