



ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

29

Г.А. Аксенов, В.М. Аульченко, Л.М. Барков, С.Е. Бару,
А.М. Власов, Г.М. Колачев, А.С. Кузьмин, Л.М. Курдадзе,
П.К. Лебедев, М.Ю. Лельчук, Ю.И. Мерзляков,
М.Д. Минаков, В.П. Нагаслаев, А.Б. Номероцкий,
В.С. Охапкин, С.Г. Пивоваров, Г.С. Пискунов, С.И. Редин,
Л.В. Романов, Н.И. Роот, В.Я. Сазанский, В.А. Сидоров,
А.Н. Скринский, В.П. Смахтин, Е.П. Солодов, В.М. Титов,
Г.В. Федотович, Б.И. Хазин, П.Л. Храпкин,
А.Г. Чилингаров, Б.А. Шварц, А.И. Шехтман,
Б.Н. Шувалов, С.И. Эйдельман.

ПРОЕКТ ДЕТЕКТОРА КМД-2 ДЛЯ ВЭПП-2М

ПРЕПРИНТ 85-118



НОВОСИБИРСК

В настоящее время накопитель ВЭПП-2М является единственным в мире накопителем, работающим в режиме встречных пучков в области энергий 0.36—1.4 ГэВ. С помощью детекторов «ОЛЯ», КМД, НД на этом накопителе получен ряд интересных результатов. Весной 1986 года планируется начало модернизации комплекса ВЭПП-2М. Установка нового промежуточного накопителя БЭП по проекту позволит увеличить максимальную светимость установки в десять раз. Для реализации этих новых возможностей требуется построение нового детектора с существенно лучшими параметрами, чем все работавшие до этого. С этой целью планируется создание детектора КМД-2, способного регистрировать заряженные и нейтральные каналы с высокой эффективностью и точностью. Схематически разрез детектора представлен на рис. 1 и рис. 2.

Проект реализуется в два этапа.

Первый этап. К началу работы комплекса БЭП—ВЭПП-2М (начало 1987 года), изготавливается сверхпроводящий магнит, дрейфовая камера и запускающая система. Кроме этого, предполагается установить часть кристаллов CsI и пробегную систему на основе стримерных трубок, разработанных для пробегной системы детектора СКИФ. В таком виде детектор должен обеспечить начало экспериментов на ВЭПП-2М, в частности проведение эксперимента по измерению формфактора пиона с точностью 0.5%.

Размеры кристаллов калориметра и их количество соответствуют торцевому калориметру детектора СКИФ. С началом работ на детекторе СКИФ калориметр КМД-2 переставляется в торцевую часть СКИФ.

Калориметр на основе кристаллов CsI и стримерные трубки являются новыми для института разработками. На детекторе КМД-2 эти новые методики придут обкатку в условиях реального эксперимента. Необходимо отметить, что последнее справедливо в отношении всех систем детектора, так как проект КМД-2 рассматривается как некий «полигон» для проверки методических элементов и систем, закладываемых в проект детектора СКИФ.

Второй этап. Одновременно с первым этапом ведутся методические разработки по производству кристаллов ВГО и ливнево-пробегной системы на жидком ксеноне. Если разработки будут удачными, то цилиндрический калориметр КМД-2 заменяется на ксеноновый, а кристаллы ВГО устанавливаются в торцевые систе-

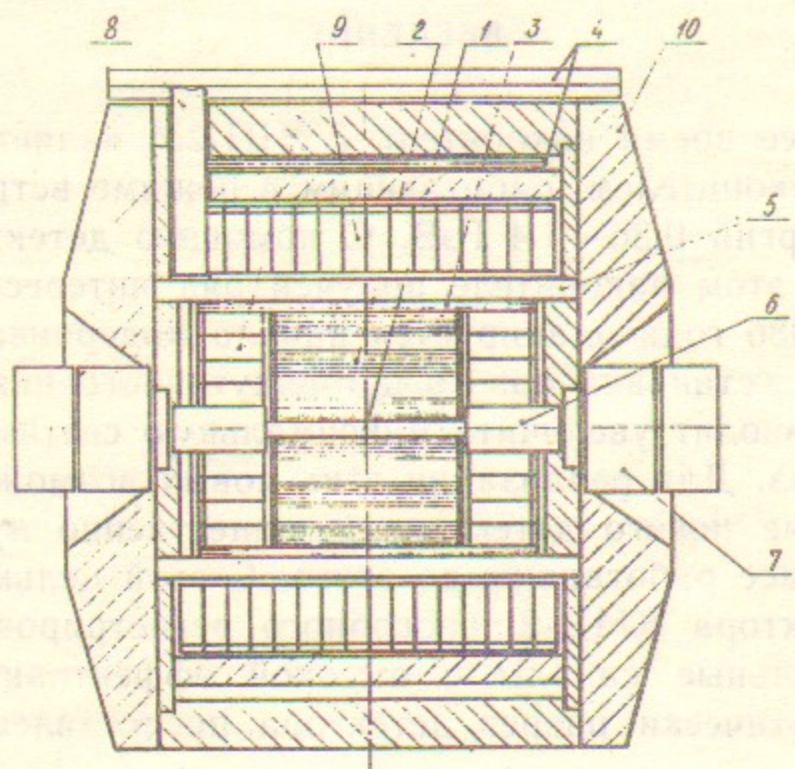


Рис. 1. Продольный разрез детектора:

1—место встречи пучков, 2—дрейфовая камера, 3—z-камера, 4—пробежная система, 5—основной магнит, 6—компенсирующий магнит, 7—линзы накопителя, 8—токовводы и жидкий гелий для магнитов, 9—кристаллы CsI, 10—ядро магнита.

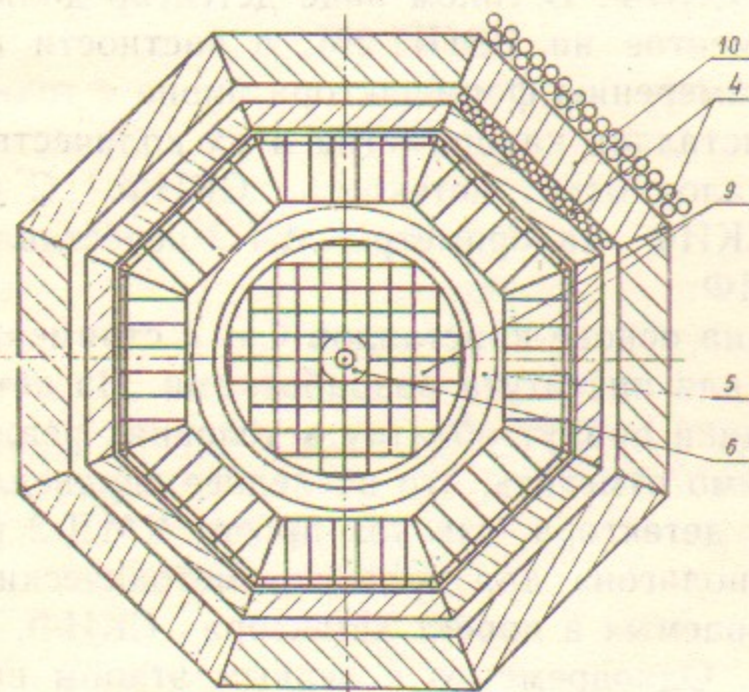


Рис. 2. Поперечный разрез детектора. Обозначения те же, что и на рис. 1.

мы. Впоследствии можно рассматривать варианты с использованием жидкого ксенона и ВГО в детекторе «СКИФ».

Необходимо отметить, что если реализация второго этапа детектора станет возможной, то разумно начать разработки сверхпроводящего варианта накопителя ВЭПП-2М с максимальной энергией вплоть до $2E = 3.1$ ГэВ (джи-пси). Предлагаемый вариант детектора по своим параметрам не уступает работающему на накопителе SPEAR детектору MARK-3 и имеет лучшую ливнево-пробежную часть.

Ниже даны краткие описания физической программы и систем детектора.

1. ФИЗИКА НА ВЭПП-2М

В ближайшие годы планируется перестройка комплекса ВЭПП-2М, в результате которой ожидается повышение его светимости до уровня $5 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ [1]. Такая светимость позволяет надеяться получить за разумное время эксперимента (1—2 года) интегральные светимости порядка $100\text{--}200 \text{ пб}^{-1}$ в доступной накопителю ВЭПП-2М области энергии от порога рождения адронов до 1400 МэВ.

Ниже кратко перечислены физические задачи, представляющие интерес в этой области энергии, решение которых становится возможным при достижении указанной интегральной светимости и наличии универсального детектора, имеющего хорошую идентификацию заряженных частиц в большом телесном угле и высокую эффективность регистрации γ -квантов с энергией 100—300 МэВ. Как правило, обсуждаются процессы, в которых в конечном состоянии имеются как заряженные частицы, так и γ -кванты. Чисто нейтральные моды являются предметом исследований нейтрального детектора и его будущих модификаций.

Прежде всего отметим, что сечение e^+e^- -аннигиляции в адроны при энергиях вблизи порога рождения представляет значительный интерес для всевозможных теоретических правил сумм. Во-первых, знание сечения позволяет проверить правила сумм КХД и извлечь значения фундаментальных теоретических параметров (кварковых и глюонных вакуумных средних, константы сильного взаимодействия α_s) [2, 3]. Во-вторых, сечения e^+e^- -аннигиляции необходимы для вычисления вклада адронной поляризации вакуума в аномальный магнитный момент мюона [4]. Наконец, существует связь между величиной сечений e^+e^- -аннигиляции в ад-

роны с изоспином 1 и бранчингами соответствующих мод распада t -лептона, проверка которой дала бы информацию о возможных отклонениях от стандартной электрослабой модели [5, 6]. Достижение экспериментальной точности в величине сечений порядка 1% позволило бы заметно продвинуться во всех перечисленных проблемах.

Перечислим основные каналы e^+e^- -аннигиляции в области энергии ВЭПП-2М.

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$$

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый благодаря экспериментам с детекторами ОЛЯ и КМД [7, 4], в которых был детально измерен формфактор π -мезона в области энергии от 360 до 1400 МэВ, требуется заметное повышение точности измерений в области энергии вблизи порога и при энергии выше 1000 МэВ. Знание с высокой точностью формфактора π -мезона во времениподобной области позволит определить длину $\pi\pi$ -рассеяния, а также, применяя дисперсионные соотношения, вычислить значения формфактора в пространственноподобной области [8].

Измерения в области энергии выше 1000 МэВ необходимы для дальнейшего прояснения вопроса о существовании $\rho'(1250)$ и роли унитарных поправок, связанных с открывающимися многочастичными каналами. Кроме того, измерение зарядовой асимметрии в районе f -мезона ($2E \approx 1270$ МэВ) даст возможность выделить S -четный вклад в сечение и измерить фазу формфактора [9].

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$$

Этот процесс подробно изучен вблизи ω и Φ -резонансов [10]. Более точные измерения сечения в области между ω и Φ позволят уточнить фазу ω - Φ интерференции. Области энергии ниже 690 МэВ и выше 1050 МэВ практически не исследованы. Детальное измерение сечения даст возможность проверить красивые эффекты ρ - ω смешивания [11]. Наконец, представляет интерес изучение диаграммы Далица для этого процесса с целью выяснения роли $\rho\pi$ механизма.

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$$

Сечения этих процессов измерены с удовлетворительной точностью лишь при энергии выше 1100 МэВ [12, 4]. Необходимы из-

мерения энергетической зависимости сечения при меньшей энергии, а также выяснение механизмов рождения ($\omega\pi$, $\rho\pi$, $A_1\pi$ и т. д.). Это позволит прояснить вопрос о существовании $\rho'(1250)$. Кроме того, интересно изучить эффекты перерассеяния π -мезонов в конечном состоянии [13].

$$e^+e^- \rightarrow 5\pi, 6\pi$$

Реакции с числом конечных π -мезонов больше четырех изучены слабо. Имеются данные детектора КМД по сечению процесса $e^+e^- \rightarrow 5\pi$ [4], но статистика очень мала. Величина сечения при максимальной энергии порядка 1 нб, так что можно надеяться измерить энергетическую зависимость сечения и выяснить механизм рождения ($\omega\pi\pi$, $V\pi$ и т. д.). Для различных зарядовых состояний в процессе $e^+e^- \rightarrow 6\pi$ данных в этой области нет совсем.

$$e^+e^- \rightarrow K^+K^-, K_S K_L$$

Формфактор заряженного каона вне Φ -мезона измерен с неплохой точностью, в то время как данные по формфактору нейтрального каона весьма скудны [14, 15, 4]. Между тем знание обоих формфакторов с хорошей точностью необходимо для правильной интерпретации всей совокупности данных в области энергии от 1 до 2 ГэВ и решения вопроса о существовании возбужденных Φ -мезона.

$$e^+e^- \rightarrow K\bar{K}\pi, K\bar{K}\pi\pi$$

Эти процессы совершенно не изучены. Необходимо измерение сечения, а также поиск состояний типа $\Phi\pi$ и $\Phi\pi\pi$.

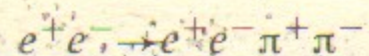
$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma, K\bar{K}\gamma, \pi^0\pi^0\gamma$$

Измерение сечений этих процессов представляет интерес с точки зрения изучения скалярных резонансов δ и S^* [14], а также измерения поляризуемости π^0 -мезона [15] ($ee \rightarrow \pi^0\pi^0\gamma$). Для процесса $ee \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$ возможно изучение эффектов перерассеяния [16].

$$e^+e^- \rightarrow \eta\pi, \eta\pi\pi$$

Никаких данных о сечениях этих процессов в e^+e^- -аннигиляции пока нет. Имеются указания на наблюдение $\eta\pi\pi$ резонанса с

массой 1280 МэВ и шириной ~ 80 МэВ в фоторождении, но квантовые числа пока надежно не установлены [17]. Теоретический расчет предсказывает пороговое усиление при энергиях от 1.0 до 1.4 ГэВ (сечение растет от 4 до 250 пб), связанное с открытием канала $ee \rightarrow \Phi \rightarrow \rho\eta \rightarrow \eta\pi\pi$ [18]. В этой же работе предсказывается величина бранчинга распада $\Phi \rightarrow \eta\pi\pi = 0.35 \cdot 10^{-4}$.



Полное сечение, этого процесса при энергии выше 1 ГэВ ~ 0.5 нб. Имея хорошее разделение пионов и электронов и большой телесный угол, можно изучить двухфотонное рождение пионных пар с малой инвариантной массой 500 МэВ, что, по-видимому, трудно осуществить в экспериментах при высокой энергии. Знание амплитуды $\gamma\gamma \rightarrow \pi\pi$ весьма интересно для теории низкоэнергетического $\pi\pi$ -рассеяния [19].

Распады векторных мезонов (ρ , ω , Φ)

Большие интегральные светимости для перечисленных выше процессов, набранные в районе ρ -, ω -, Φ -мезонов, позволят изучить с высокой точностью основные моды распада этих резонансов и заметно улучшить верхние пределы на бранчинги редких мод распада. Если считать реальным достижение интегральной светимости 100 пб^{-1} на Φ -мезоне и 10 пб^{-1} на ρ -, ω -мезонах, то можно достичь верхних пределов порядка 10^{-7} на Φ -мезоне и 10^{-5} на ρ -, ω -мезонах, что на 3—4 порядка лучше приведенных в таблицах [20]. Наконец, регистрация $2 \cdot 10^8$ Φ -мезонов позволит увидеть $\sim 10^6$ событий распада $\Phi \rightarrow \eta\pi\pi$ и улучшить верхние пределы на некоторые редкие моды распада η на 2—3 порядка.

CP-эксперимент

Кратко сформулируем выводы о возможности проведения CP-эксперимента, т. е. изучения системы $K_S K_L$, рожденной в e^+e^- -аннигиляции через Φ -мезон [21]. Эти эксперименты можно разбить на три класса.

1. Обнаружение CP-нарушающего распада $K_L \rightarrow \pi^+\pi^-$ в вакууме при рождении системы $K_S K_L$ требует интегральной светимости $1-5 \text{ пб}^{-1}$ для регистрации 10—50 событий. При этом эксперимент носит чисто демонстрационный характер.

2. Обнаружение квантовомеханических корреляций на макроскопических расстояниях требует интегральной светимости $50-100 \text{ пб}^{-1}$.

3. Обнаружение зарядовой асимметрии в системе $\pi^+\pi^- + \pi^+e^\pm\nu$, уточнение отношения $|\eta_\pm/\eta_{00}|$, изучение CP-нарушающих распадов K_S -мезона требует интегральной светимости $500-1000 \text{ пб}^{-1}$, что, по-видимому, невозможно получить на ВЭПП-2М. Причем эти эксперименты, в отличие от первых двух групп, не используют уникальных особенностей e^+e^- встречных пучков и могут быть выполнены на прямых пучках или на установке LEAR в ЦЕРНе.

2. МАГНИТНАЯ СИСТЕМА

Магнитная система детектора состоит из основного и двух компенсирующих сверхпроводящих магнитов.

Основной магнит:

- один или два слоя сп кабеля диаметром 1.2 мм, намотанные на алюминиевой шпильке;
- все экраны и корпус также алюминиевые;
- рабочее поле 20 кГс;
- полная толщина обмотки и криостата 0.3 рад. ед;
- диаметр внутреннего теплого объема 65 см;
- длина обмотки 90 см;

Компенсирующий магнит:

- шесть слоев сп кабеля диаметром 1.5 мм;
- внутренний диаметр обмотки 56 мм;
- внешний диаметр обмотки 74 мм;
- длина обмотки 200 мм;
- рабочее поле в центре соленоида 50 кГс;

3. ВАКУУМНАЯ КАМЕРА

Вакуумная камера накопителя в прямолинейном промежутке представляет собой трубку диаметром 40 мм и длиной 100 см. Для уменьшения многократного рассеяния ее центральная часть длиной 20 см изготавливается из бериллия или алюминия с переходом на трубку из нержавеющей стали для сварки с вакуумной камерой вне детектора.

Минимальная расчетная толщина d трубок из бериллия и алю-

миния, выдерживающих давление $P=1$, модуль Юнга и отношение толщины к радиационной длине d/l приведены в таблице 1.

Таблица 1

	E , кг/см ²	d , мм	d/l , рад. ед.
Be	$(2.9-3.1) \cdot 10^6$	0.22	$6 \cdot 10^{-4}$
Al	$(0.70-0.72) \cdot 10^6$	0.34	$3.8 \cdot 10^{-3}$

В данном проекте предусматривается изготовление двух вариантов вакуумной трубы:

- бериллиевая трубка толщиной 0.4—0.5 мм (0.0011 рад. ед.). Соединение с нержавеющей сталью осуществляется диффузионной сваркой;
- гофрированная алюминиевая трубка толщиной 0.15 мм (0.0024 рад. ед.) с высотой гофра 1 мм и шагом 2 мм. Соединение с нержавеющей сталью осуществляется пайкой твердым припоем.

Потери для релятивистских частиц для бериллиевой и алюминиевой вакуумной камеры составляют соответственно 120 кэВ и 93 кэВ.

4. ДРЕЙФОВАЯ КАМЕРА

Дрейфовая камера выполнена в виде цилиндра длиной 44 см и диаметром 60 см. Нагрузка от натяжения проволочек воспринимается цилиндрической обечайкой. Расположение сигнальных и полевых проволочек дано на рис. 3. Структура камеры—секторная. Измерения координат проводятся в 19 точках по длине трека. Неопределенность лево-право убирается сдвигом положения проволочек на $\pm 0,3$ мм. На полевые проволочки подается распределенный потенциал так, что в дрейфовом зазоре формируется однородное электрическое поле, перпендикулярное плоскости чувствительных проволочек в ячейке. Координата вдоль проволочек измеряется методом деления заряда.

Для постоянной калибровки линейности по z для внешних проволочек предусматривается постановка коллимированных источников Fe-55 на поверхности цилиндрической обечайки.

Кроме этого, амплитуды с 19 слоев дрейфовой камеры предполагается использовать для измерения dE/dx . Можно рассчитывать

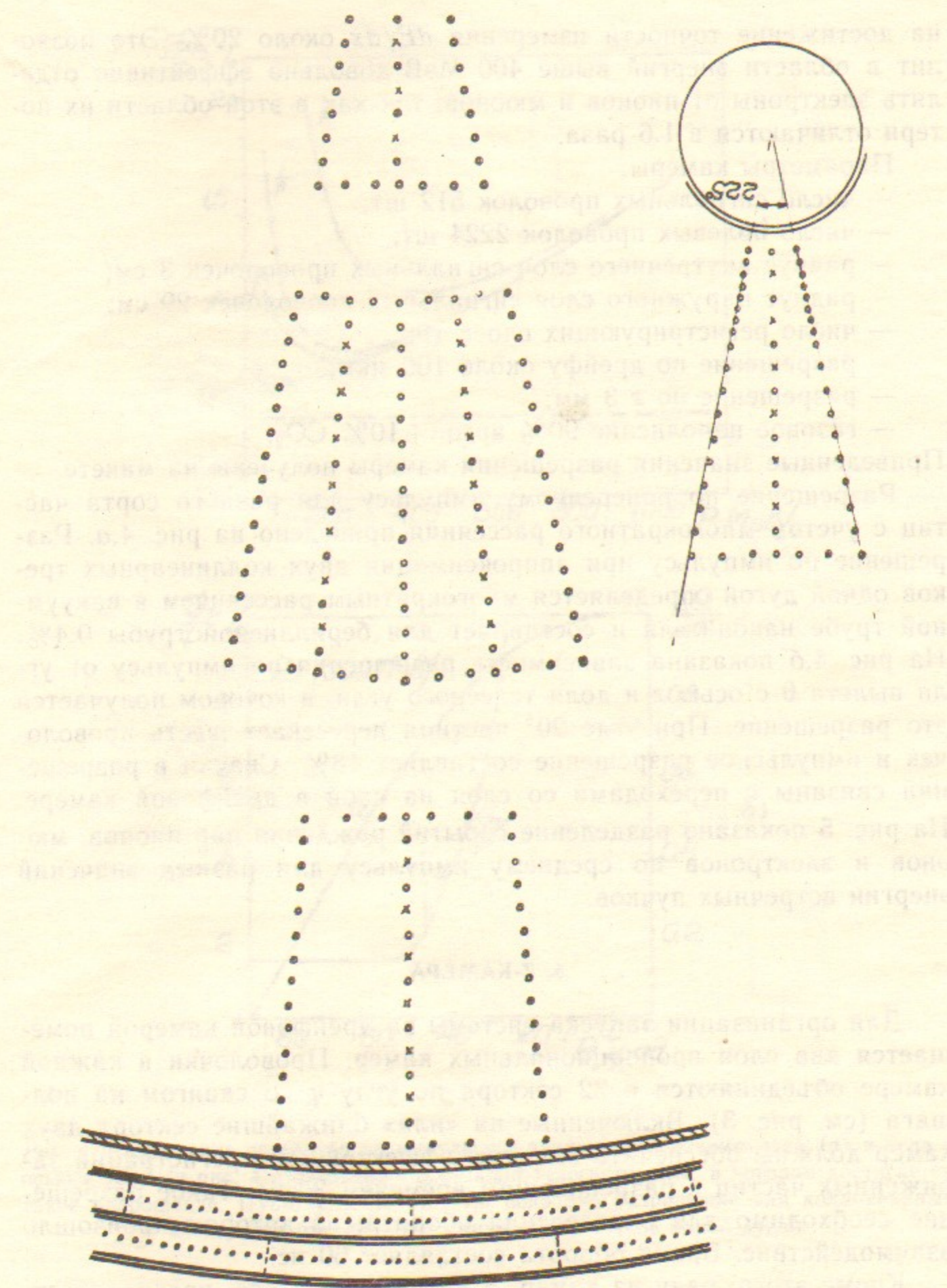


Рис. 3. Расположение проволочек дрейфовой камеры и z-камер.

на достижение точности измерения dE/dx около 20%. Это позволяет в области энергий выше 400 МэВ довольно эффективно отделять электроны от пионов и мюонов, так как в этой области их потери отличаются в 1.6 раза.

Параметры камеры:

- число сигнальных проволок 512 шт;
- число полевых проволок 2224 шт;
- радиус внутреннего слоя сигнальных проволочек 3 см;
- радиус наружного слоя сигнальных проволочек 29 см;
- число регистрирующих слоев 19;
- разрешение по дрейфу около 100 мкм;
- разрешение по z 3 мм;
- газовое наполнение 90% аргон + 10% CO_2 .

Приведенные значения разрешения камеры получены на макете.

Разрешение по поперечному импульсу для разного сорта частиц с учетом многократного рассеяния приведено на рис. 4,а. Разрешение по импульсу при аппроксимации двух коллинеарных треков одной дугой определяется многократным рассеянием в вакуумной трубе накопителя и составляет для бериллиевой трубы 0.4%. На рис. 4,б показана зависимость разрешения по импульсу от угла вылета θ с осью z и доля телесного угла, в котором получается это разрешение. При угле 20° частица пересекает шесть проволочек и импульсное разрешение составляет 18%. Скачки в разрешении связаны с переходами со слоя на слой в дрейфовой камере. На рис. 5 показано разделение событий рождения пар пионов, мюонов и электронов по среднему импульсу для разных значений энергии встречных пучков.

5. Z-КАМЕРА

Для организации запуска системы за дрейфовой камерой помещается два слоя пропорциональных камер. Проволочки в каждой камере объединяются в 32 сектора по углу φ со сдвигом на полшага (см. рис. 3). Включенные на «или» ближайшие сектора двух камер должны обеспечить высокую эффективность регистрации заряженных частиц с разрешающим временем 30 нс. Такое разрешение необходимо для определения оборота, на котором произошло взаимодействие. Время оборота составляет 60 нс.

Кроме этого, одну из камер, а впоследствии обе, предполагается использовать для измерения z -координаты. С этой целью катоды камер разбиваются на кольцевые полоски шириной около 1 см

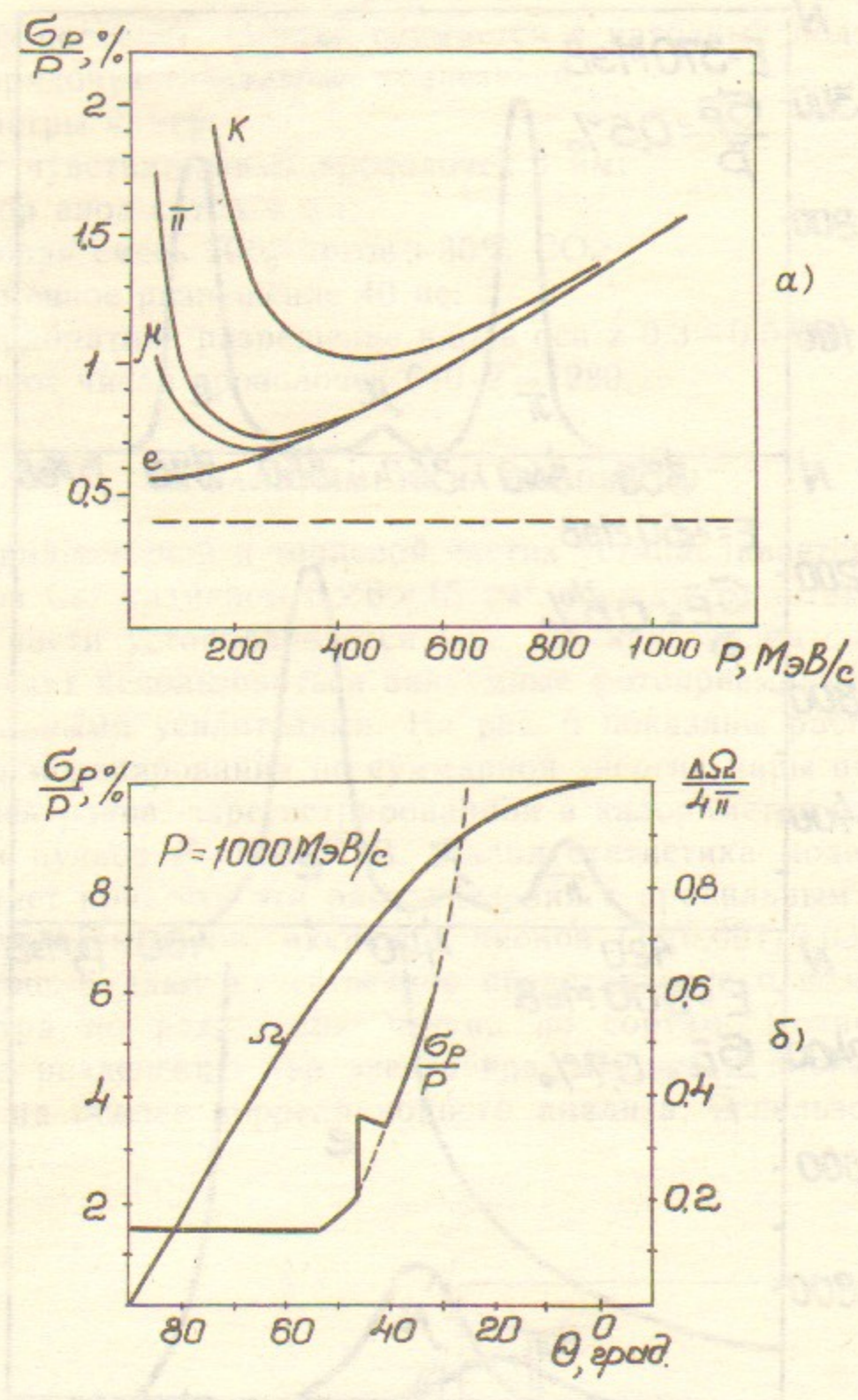


Рис. 4. Разрешение детектора по импульсу в зависимости от импульса (а) и угла с осью z (б). На рис. 4,б показана также доля телесного угла, в котором достигается такое разрешение. Пунктиром на рис. 4,а показано разрешение для коллинеарных электронов при аппроксимации обоих треков одной дугой.

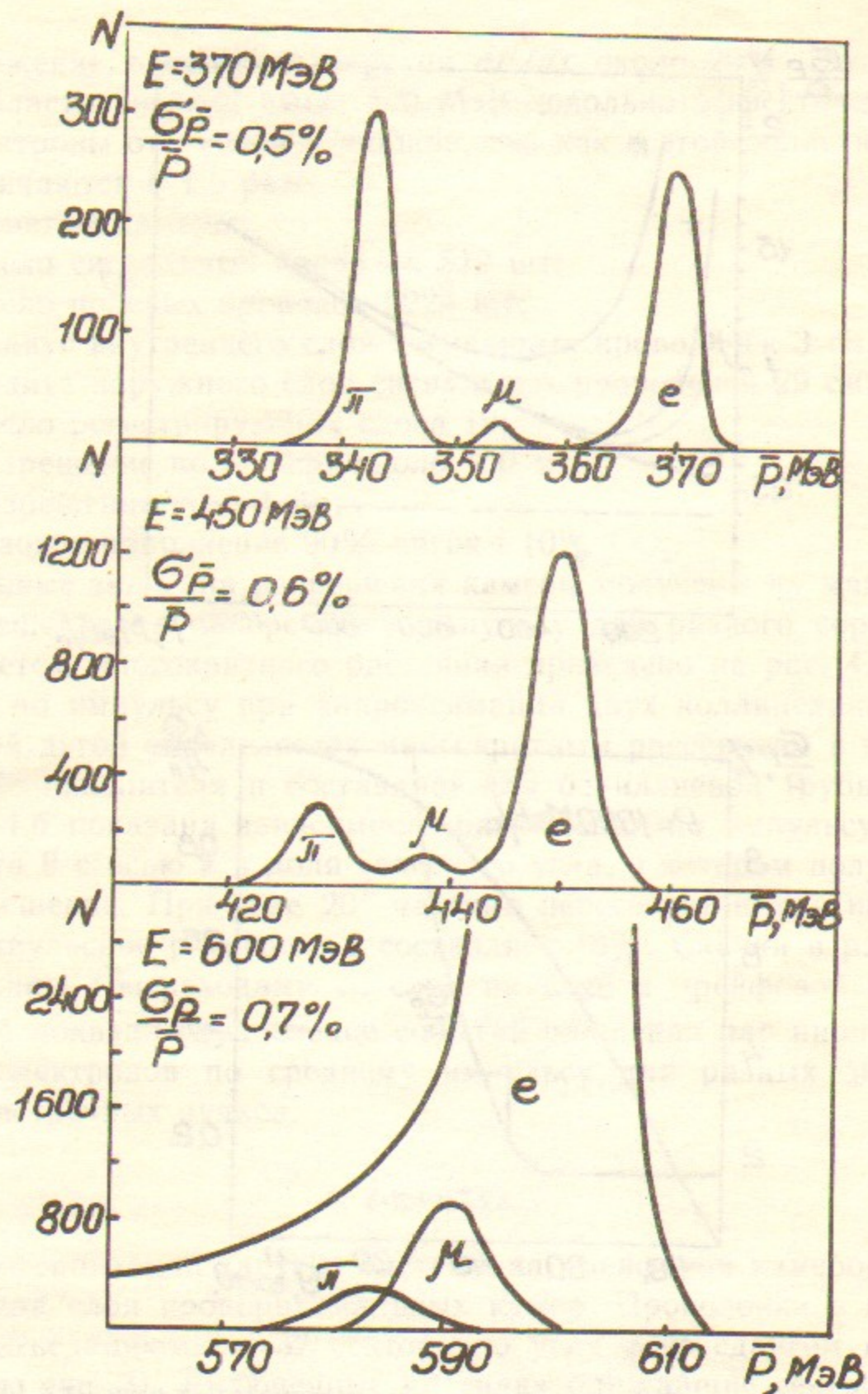


Рис. 5. Разделение коллинеарных событий по величине среднего импульса.

(всего 128 полосок). Сигнал снимается с катодных полосок с помощью зарядочувствительных усилителей.

Параметры камер:

- шаг чувствительных проволочек 3 мм;
- зазор анод-катод 4 мм;
- газовая смесь 70% аргон + 30% CO₂;
- временное разрешение 40 нс;
- координатное разрешение вдоль оси z 0.3—0.5 мм;
- полное число проволочек 640 · 2 = 1280.

6. КАЛОРИМЕТР НА ОСНОВЕ CsI

В цилиндрической и торцевой частях устанавливается 640 + 128 кристаллов CsI размером 6 × 6 × 15 см³. Между октантами цилиндрической части устанавливается еще 256 кристаллов специальной формы. Будут использоваться вакуумные фотоприемники с зарядочувствительными усилителями. На рис. 6 показаны распределения событий в моделировании по суммарной энергии пары пионов, мюонов и электронов, зарегистрированной в калориметре при энергии встречных пучков E = 600 МэВ. Малая статистика моделирования не позволяет привести эти распределения с правильным соотношением числа электронов, мюонов и пионов (1./0.091/0.03). Распределения рис. 6 дают качественное представление о возможностях калориметра по разделению частиц по сортам. Количественные оценки по разделению пар электронов, мюонов и пионов должны делаться на основе корреляционного анализа, использованного в работе [7].

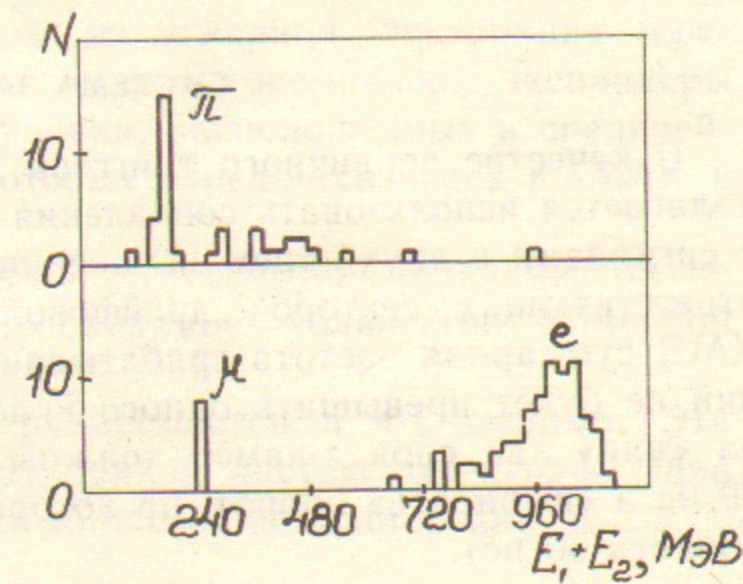


Рис. 6. Разделение пар электронов, мюонов и пионов при $2E = 1200$ МэВ по суммарной энергии пары, выделенной в калориметре, состоящем из кристаллов CsI длиной 15 см. Перед калориметром расположено $0.3 X_0$ пассивного вещества.

Эффективность регистрации фотонов с энергией 100 МэВ составляет 99%.

Параметры калориметра:

- размеры кристаллов $6 \times 6 \times 15$ см³;
- вес кристалла 2.43 кг;
- число рад. длин 8.3;
- число ядерных длин 0.41;
- шумы электроники 0.5 МэВ/канал;
- энергетическое разрешение 10% при $E = 100$ МэВ;
- пространственное разрешение 10 мм;
- телесный угол 97% от 4π.

7. ПРОБЕЖНАЯ СИСТЕМА

Для пробежной системы используются стримерные трубки пробежной части СКИФ. Координаты вдоль трубок определяются по разнице времени прихода сигналов на концы трубок. Пробежная система состоит из двух регистрирующих слоев. Первый двойной слой трубок диаметром 20 мм расположен после 7 см железа, стоящего за калориметром (0.41+0.5 яд. длины). Второй двойной слой трубок диаметром 40 мм расположен еще после 13 см железа (0.8 яд. длины). Для уменьшения числа регистрирующих каналов трубки соединяются последовательно по 2—3 штуки. Мюоны начинают выходить во второй слой трубок при энергии 450 МэВ.

Параметры пробежной системы:

- полное число трубок $416 + 272 = 688$;
- число каналов электроники 256;
- координатное разрешение вдоль трубки 10 мм;
- телесный угол системы 50% от 4π.

8. СИСТЕМА ЗАПУСКА

В качестве первичного триггера для заряженных частиц предполагается использовать совпадения сигналов с секторов z-камеры с сигналами с двух—трех включенных на «или» проволочек из соответствующих секторов дрейфовой камеры. Из опыта работы КМД суммарная частота срабатывания 32 таких двойных совпадений не будет превышать одного килогерца. При этом включенные на «или» два слоя z-камер должны иметь временное разрешение 30 нс и «выбирать» оборот, на котором произошло событие (время оборота 60 нс).

Основным критерием для чисто нейтрального запуска должно стать полное энерговыделение в калориметре. Так как калориметр расположен далеко от яучка и «экранирован» магнитным полем, можно рассчитывать на частоту запуска около 1 Герца при не слишком высоком пороге (НД при пороге 150 МэВ имеет около 10 Гц). Можно требовать также совпадения двух секторов калориметра с более низким порогом.

По сигналу первичного триггера начинается (для временных каналов заканчивается) оцифровка аналоговых сигналов.

Вторичный триггер должен по сигналам с трех слоев дрейфовой камеры и сигнала с z-камеры за время 5 мксек решить, что в детекторе есть по крайней мере одна заряженная частица в заданном интервале импульсов, вылетающая из места встречи. Если решение вторичного триггера положительно, то дается разрешение на запись события в память ЭВМ. Предполагается, что такая система позволит снизить частоту фоновых запусков до 1 Гц. Для дальнейшего снижения частоты фоновых запусков можно требовать наличие двух треков в камере или одного трека и одного фотона в калориметре. Вторичный триггер через КАМАК связан с ЭВМ и его условия могут быть изменены.

Высокая светимость ВЭПП-2М приводит к тому, что в пиках резонансов скорость счета эффекта достигает 200 Гц. Поэтому вторичный триггер должен уметь исключать неинтересные события. Например, Баба-рассеяние можно исключить по наличию двух коллинеарных треков или двух коллинеарных кластеров в калориметре.

9. ЭЛЕКТРОНИКА И СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ

Система сбора данных состоит из камерной электроники (предусилители дрейфовой камеры и фотоприемников, экспандеры дрейфовых трубок) и плат оцифровки, расположенных в спецкрейтах, цифровая информация с которых передается через КАМАК в ЭВМ.

В таблице 2 приведено число регистрирующих элементов по каждой системе детектора, необходимое количество камерной электроники, число спецкрейтов.

Требуемые 19 спецкрейтов размещаются в 4-х стойках. Эта электроника является самой трудоемкой частью детектора. Одна стойка оценивается в 1000 нормо-часов мехмастерских и 10000 электромонтажных.

Таблица 2

Система	Каналы	Камерная электроника	Число спец. крейтов
Дрейфовая камера	512 (Т2А)	1024 предусил.	8.0
Z-камеры	64 (да-нет) 128 (А)	64 усил.форм. 128 ЗЧУ	0.5 1.0
Калориметр	1024 (А)	1024 ЗЧУ	8.0
Пробежная система	688 (Т')	256 экспандеров	1.0
		Всего:	19.0

Т2А—канал с регистрацией времени с общим стопом и двух амплитуд; А—канал с регистрацией только амплитуд; Т'—канал с регистрацией времени в каждом канале по индивидуальным стартам и стопам.

В качестве ЭВМ на линии с детектором предполагается использовать Электронику-79. Перенос программ обработки детектора КМД с ЕС-1061 на Электронику-79 показал, что на полную обработку одного двухтрекового события (проведение траекторий в магнитном поле, вычисление углов и импульсов, введение различных поправок) требуется 0.625 сек. Оценка времени обработки двух фотонов в нейтральном детекторе на Э-79 дает величину 0.2 сек. Если частота записи событий в память будет меньше одного Герца, то Электроника-79 будет успевать полностью обрабатывать все события. В противном случае нужно использовать ЭВМ как третичный триггер и обрабатывать полностью только часть событий. Хотя использование Электроники-79, по-видимому, полностью удовлетворит нужды экспериментов с КМД-2, представляется целесообразным рассмотреть подключение к ней процессора АП-20, так как это предполагается в детекторе «СКИФ». Это позволит приобрести опыт работы такой системы в реальном эксперименте и, по-видимому, снимет потребности КМД-2 в вычислительных мощностях кроме, возможно, моделирования.

10. МОНИТОР ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТИМОСТИ НА ЖИДКОМ КСЕНОНЕ

При возросшей светимости ВЭПП-2М измерение светимости под нулевыми углами по процессам однократного и двойного тормозного излучения становится трудной задачей ввиду очень больших нагрузок, достигающих 10^6 Гц. При такой нагрузке кристал-

лические детекторы имеют малое время жизни (быстро темнеют), а в пропорциональных камерах возникают проблемы с пространственным зарядом.

Интересной возможностью является использование для регистрации γ -квантов двух небольших (около 40 литров) калориметров на основе жидкого ксенона. При этом предполагается использовать хорошие сцинтилляционные свойства жидкого ксенона, имеющего время высвечивания около 1 нс и световыход, сравнимый с NaI. Такая система будет иметь энергетическое разрешение 2—3% с хорошими временными характеристиками, что позволит использовать для целей мониторинга процесс двухквантовой аннигиляции. На этой небольшой системе можно провести все методические работы необходимые для построения в дальнейшем большого калориметра.

11. ОЦЕНКА СТОИМОСТИ ДЕТЕКТОРА

Примерный расчет стоимости различных систем детектора приведен в таблице 3. Учитывались только нормо-часы мастерских без лабораторных вложений.

Таблица 3

Система	н/час мех.	н/час эл.монтажн.
СП обмотки	500	—
Ярмо магнитов	1500	—
Дрейфовая камера	1000	1600
Z-камеры	300	400
Калориметр	3000	4000
Пробежная система	1500	1500
Электроника сбора данных	4000	40000
Источник питания магнита	600	400
Монитор на жидком Хе	500	500
	12900	48400

Нужно отметить, что одна треть механических затрат и половина электромонтажных должна быть потрачена на калориметр, который фактически является торцевым калориметром детектора СКИФ.

План-график работ по КМД-2

	Ответственный исполнитель	1985		1986		1987	
		Работа с детектором НД		Установка БЭПа		Работа с КМД-2	
ВЭПП-2М	Шагунов						
СП обмотки	Охапкин	1 комп. магнит	Изготов. 2-го КМ и основн. магн.	Испытание обмоток		Сборка в железе, испытание	
Ярмо магнита	Охапкин Пивоваров	Рабочие чертежи		Изготовление			
Дрейфовая камера	Хазин Солодов	Работа с макетом	Изготовление осн. камеры	Запуск в работу	Работа с космикой		
Z-камеры	Федотович Чилингаров	Подготовка чертежей	Изготовление	Запуск и отладка	Работа с космикой		
Калориметр	Шварц Смахтин	Методические работы		Производство Торц. сист. + 1/4 цилиндр.		Производство	
Пробежная система	Лельчук Лебедев	Чертежи	Изготов. 2-х окт Ø 20	Сборка в жел., запуск			
Электроника сбора данных	Солодов Захваткин	Проектиров.	Пробные экз. Отладка	Изготовление 10 крейтов?	Изготовление полного комплекта		
Источник питан. магн.	Охапкин Петров С.	Изготовление		Наладка, испытание			
Монитор LXE	Лебедев Федотович	Проект макета	Запуск макета	Работа с макетом	Чертежи	Изгот. монит.	Испытания, наладка
ЭВМ, маг. обеспечение	Шехтман Лебедев	Перенос прогр. КМД на Э-79. Отладка.					
Оборудов. пультовой	Захваткин Пивоваров	Подготовка чертежей		Стоительн. работы		Установка оборудования	

12. ПЛАН-ГРАФИК РАБОТ ПО КМД-2

В табл. 4 приведен план-график работ по КМД-2. График составлен так, чтобы к концу 1986 года все основные элементы детектора были готовы и можно было начинать отладку детектора в сборе. Две позиции в этом графике наиболее напряженные—это электроника сбора данных и калориметр. К концу 1985 года должны появиться только первые опытные образцы спецкрейтов с платами оцифровки. Вопрос с производством кристаллов CsI для детекторов КМД-2 и «СКИФ» окончательно не решен, поэтому к концу 1986 года можно надеяться получить только часть кристаллов, требуемых для КМД-2.

13. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ ПО ВГО И ЖИДКОМУ КСЕНОНУ

Для торцевой ливневой системы требуется 256 кристаллов ВГО. Система перекрывает полярный угол от 11 до 41 градусов с шагом 6 градусов. Длина кристаллов 14 см (12 р. ед.) Предполагается использовать полупроводниковые фотоприемники и разместить их на передней поверхности кристаллов. Вакуумные фотодиоды требуют больше места и ориентации в магнитном поле, но их использование также возможно.

Эта система позволит измерять светимость по процессу рассеяния электронов на малые углы в счетном режиме. Энергетическое разрешение для $E=100$ МэВ 6.5—8.5%. Пространственное разрешение 10 мм.

ЛИВНЕВАЯ СИСТЕМА НА ЖИДКОМ КСЕНОНЕ является новым элементом в детекторах. Применение жидкого ксенона может обеспечить хорошее определение координат и энергии ливней, хорошее dE/dx разделение и определение координат заряженных частиц с высокой точностью.

Предполагается использовать жидкоксеноновый калориметр толщиной 32 см (около 12 радиационных длин). Полная толщина вещества перед калориметром около 0.3 рад. ед. Для примера на рис. 7 приведены спектры от фотонов с энергией 100 МэВ без вещества перед калориметром и с веществом (алюминий) толщиной 0.3 рад. ед.

При работе с жидким ксеноном есть два варианта съема информации.

В первом варианте анодная плоскость представляет собой

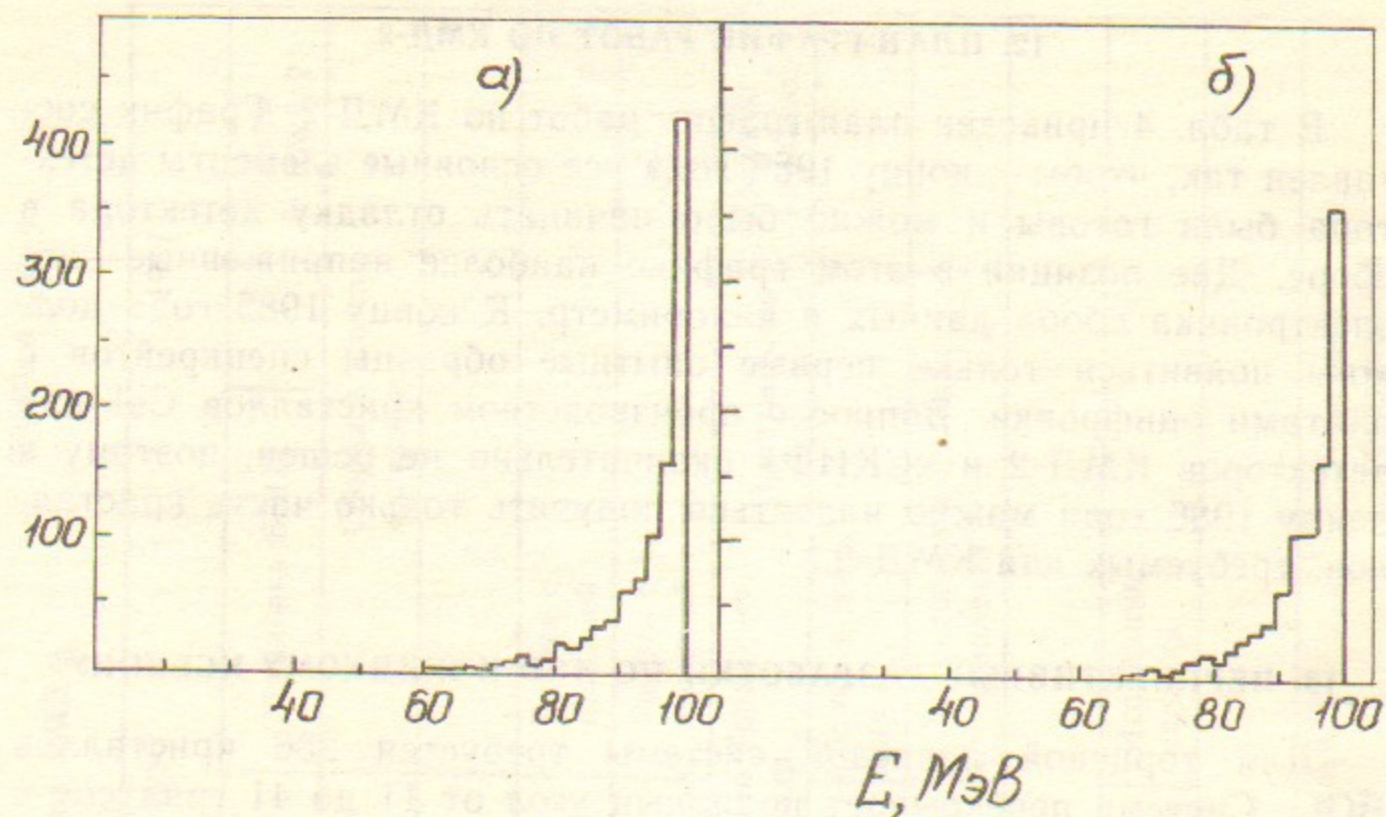


Рис. 7. Энергетическое разрешение для фотонов с энергией 100 МэВ в калориметре на основе жидкого ксенона. Толщина LXe—30 см.

а—без пассивного вещества перед калориметром; $\bar{E}=94.4$ МэВ, $\sigma/\bar{E}=8.7\%$; б—при наличии перед калориметром $0.3 X_0$ пассивного вещества: $\bar{E}=93.4$ МэВ, $\sigma/\bar{E}=10.9\%$.

проволочки диаметром 75 (150) мкм, натянутые по образующей цилиндрических зазоров с шагом 2 (4) см, а катодные полоски идут по спирали с углом 45 град. Расстояние между катодами 2 (4) см. Одна координата определяется по времени дрейфа, а другая по наведенному заряду на полоски с помощью линий задержки. Точность определения обеих координат около 1 мм. Полный заряд снимается с анодных проволок. В этом варианте чистота LXe должна быть достаточна для полного сбора заряда на анод (лучше 10^{-7} ppm). Число временных каналов 2500 (1250). Число каналов амплитудного анализа 2500 (1250). Число линий задержки 512 (256).

Во втором варианте сигнал снимается с катодной плоскости с полос шириной 2 см при величине зазора 2×1 см или 2×2 см. Все полоски параллельны оси пучков и сигналы выводятся с торцов калориметра. Electroды изготавливаются из фольгированного стеклотекстолита. Высокое напряжение подается на сплошной плоский анод. Сигнал для релятивистских частиц составляет $5 \cdot 10^5$ электронов, что позволит по наведенному заряду на соседние полоски определять координаты одиночных заряженных частиц с

точностью лучше 1 мм в поперечном направлении. Изменением ширины электродов можно обеспечить деление заряда вдоль полосок и иметь продольную координату с точностью около 1 см для одиночных частиц и лучше для ливней. В одном зазоре можно измерять обе координаты, что очень важно при регистрации слабых ливней. Число зарядочувствительных каналов—2500 или 1250. В этом варианте не требуется высокая чистота ксенона.

Используя 16 (8) измерений потерь энергии вдоль трека можно иметь разрешение dE/dx 3—4% (метод усеченного среднего) и лучше при учете распределения энерговыделения вдоль и поперек трека. Объем жидкого ксенона—1.00 м³, вес—3.5 т.

В заключение авторы выражают благодарность П.М. Иванову, О.О. Патаракину и Ю.М. Шатунову за плодотворные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.В. Анашин и др. Препринт ИЯФ 84-114. Новосибирск, 1984.
2. М.А. Shifman et al. Nucl. Phys. B147 (1979) 448.
3. S.I. Eidelman et al. Phys. Lett. 82B (1979) 278.
4. G.V. Anikin et al. Preprint INP 83-85. Novosibirsk, 1983.
5. F.J. Gilman, S.H. Rhee. Preprint SLAC-PUB-3444, 1984.
6. Л.Б. Окунь. Лептоны и кварки. Москва, Наука, 1981.
7. Л.М. Курдадзе и др. Ядерная Физика 40 (1984) 451.
8. К.Н. Мухин и О.О. Патаракин. УФН 133 (1981) 377.
9. В.Н. Новиков и С.И. Эйдельман. Ядерная Физика 21 (1975) 1029.
10. Л.М. Курдадзе и др. Препринт ИЯФ 84-7. Новосибирск, 1984.
11. Н.Н. Ачасов и Г.Н. Шестаков. ЭЧАЯ 9 (1978) 48.
12. L.M. Kurdadze et al. Preprint INP 79-69. Novosibirsk, 1979.
13. L.G. Dakhno et al. Preprint LNPI-978. Leningrad, 1984.
14. Н.Н. Ачасов и др. Ядерная Физика 32 (1980) 1098.
15. А.А. Бельков и др. Ядерная Физика 40 (1984) 1483.
16. V.V. Anisovich et al. Preprint LNPI-898. Leningrad, 1983.
17. M. Atkinson et al. Nucl. Phys. B242 (1984) 269.
18. Н.Н. Ачасов и В.А. Карнаков. Письма в ЖЭТФ 39 (1984) 285.
19. М.В. Терентьев. УФН 112 (1974) 37.
20. Review of Particle Properties, Rev. Mod. Phys. 56 (1984) s1.
21. В.Н. Байер. Препринт ИЯФ 17-73. Новосибирск, 1973.

Г.А. Аксенов, В.М. Аульченко, Л.М. Барков, С.Е. Бару,
А.М. Власов, Г.М. Колачев, А.С. Кузьмин, Л.М. Курдадзе,
П.К. Лебедев, М.Ю. Лельчук, Ю.И. Мерзляков,
М.Д. Минаков, В.П. Нагаслаев, А.Б. Номероцкий,
В.С. Охапкин, С.Г. Пивоваров, Г.С. Пискунов, С.И. Редин,
Л.В. Романов, Н.И. Роот, В.Я. Сазанский, В.А. Сидоров,
А.Н. Скринский, В.П. Смахтин, Е.П. Солодов, В.М. Титов,
Г.В. Федотович, Б.И. Хазин, П.Л. Храпкин,
А.Г. Чилингаров, Б.А. Шварц, А.И. Шехтман,
Б.Н. Шувалов, С.И. Эйдельман.

Проект детектора КМД-2 для ВЭПП-2М

Ответственный за выпуск С.Г. Попов

Работа поступила 20 августа 1985 г.
Подписано в печать 9.09 1985 г. МН 06728
Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 2.0 печ.л., 1.6 уч.-изд.л.
Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 118

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и
отпечатано на ротапинтере Института ядерной физики
СО АН СССР,
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*
