

24
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
СО АН СССР

С.Е.Бару, А.Е.Блинов, А.Е.Бондарь, А.Д.Букин,
А.И.Воробьёв, В.Р.Грошев, Н.Ф.Денисов,
А.А.Жоленц, С.Г.Клименко, Г.М.Колачёв,
Г.Д.Минаков, С.И.Мишнев, А.П.Онучин,
В.С.Панин, И.Я.Протопопов, Г.А.Савинов,
В.А.Сидоров, Ю.И.Сковпень, А.Н.Скрипский,
В.А.Таюрский, В.И.Тельнов, Ю.А.Тихонов,
Г.М.Тумайкин, А.Е.Ундрус, А.Г.Шамов,
А.И.Шушаро.

ДЕТЕКТОР МД-1

ПРЕПРИНТ 83-39

НОВОСИБИРСК

А Н Н О Т А Ц И Я

Магнитный детектор МД-1 работает на накопителе ВЭПП-4 в области энергии Υ -резонансов. Поле детектора направлено перпендикулярно плоскости орбиты, величина поля 12 кГс. Внутри обмотки находится 38 координатных и 140 ливнево-пробежных камер, 24 сцинтилляционных и 8 газовых черенковских счетчиков. Система регистрации мюонов содержит 120 камер. Для детектирования рассеянных электронов используется 12 камер и 6 сцинтилляционных счетчиков. Измерение светимости производится по однократному тормозному излучению и рассеянию электронов на малые углы. При светимости 3×10^{30} см⁻²с⁻¹ триггер, эффективность которого для регистрации Υ -мезонов 95%, работает с частотой 1 Гц.

А B S T R A C T

Magnetic detector MD-1 is installed at the storage ring VEPP-4 in the energy region of Υ -resonances. The magnetic field of the detector is perpendicular to the orbit plane, the field value being 12 kGs. Inside the magnet coils there are 38 coordinate and 140 shower-range chambers, 24 scintillation counters and 8 gas Cerenkov counters. The muon detection system consists of 120 chambers. The electron tagging system consists of 12 chambers and 6 scintillation counters. Luminosity measuring is performed by the single Bremsstrahlung process and the elastic scattering at small angles. At the luminosity 3×10^{30} cm⁻²sec⁻¹ the trigger counting rate is 1 Hz, the detection efficiency of Υ -mesons being 95%.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение	3
2. Организация места встречи на ВЭПП-4	4
3. Основные системы детектора	4
3.1. Магнит	4
3.2. Вакуумная камера	5
3.3. Координатные камеры	5
3.4. Ливнево-пробежные камеры	6
3.5. Мюонные камеры	6
3.6. Электроника пропорциональных камер	7
3.7. Сцинтилляционные счетчики	7
3.8. Газовые черенковские счетчики	8
3.9. Система регистрации рассеянных электронов	8
3.10. Система измерения светимости	9
3.11. Триггер	10
3.12. Математическое обеспечение детектора	11
4. Фоновые условия в детекторе	13
4.1. Фон от синхротронного излучения	13
4.2. Фон, обусловленный гибелью частиц в пучках	13
Литература	15

1. ВВЕДЕНИЕ^{*)}

Детектор МД-1 [1-5] в 1980 г. поставлен на электрон-позитронный накопитель ВЭПП-4. Отличительной особенностью детектора является то, что его магнитное поле направлено перпендикулярно плоскости орбиты пучков. Такой вариант детектора имеет следующие преимущества по сравнению с детекторами с продольным полем:

1. Имеется возможность регистрировать и измерять импульс частиц во всем диапазоне углов θ , включая $\theta=0$. Это особенно важно для двухфотонных процессов, где угловое распределение рассеянных электронов и рожденных частиц вытянуто по направлению движения начальных частиц [6].

2. Удобно детектировать фотоны, вылетающие под нулевым углом—низкий уровень фона и большая апертура. Эта возможность уже была использована в эксперименте по изучению однократного тормозного излучения, где наблюдался интересный эффект ограничения прицельных параметров [7], а также в эксперименте по прецизионному измерению массы Υ -мезона [8] для определения степени поляризации методом рассеяния синхротронного излучения на встречном пучке [9].

Основным недостатком детектора с поперечным полем является более сложная проблема фона, связанная с синхротронным излучением и гибелью частиц в накопителе. Решение этих проблем дано в работах [10,11].

^{*)} Доклад на рабочем совещании ОИЯИ по программе экспериментов на встречных пучках, Дубна, 8—9 февраля 1983 г.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ МЕСТА ВСТРЕЧИ НА ВЭПП-4

Накопитель ВЭПП-4 [12] имеет два полукольца радиусом 45 м, соединенных двумя прямолинейными промежутками (рис.1). Один из них предназначен для технических целей, а другой, длина которого 55 м,—для проведения экспериментов. В нем расположены три места встречи пучков и 15 квадрупольных линз, создающих необходимые параметры пучков.

Расположение детектора МД-1 на накопителе ВЭПП-4 показано на рис. 1, 2. Область встречи пучков находится внутри основного магнита. С обеих сторон от основного магнита стоят доворотные магниты (ДМ) с большой апертурой. Постановка ДМ позволяет регистрировать рассеянные электроны с меньшей потерей энергии и улучшает точность измерения энергии рассеянных электронов. Раздельное питание основного и доворотных магнитов позволяет варьировать поле в детекторе для выбора оптимальных условий работы. В настоящее время при энергии пучка 5,15 ГэВ поле в основном магните составляет 12,5 кГс, в доворотных магнитах 6,3 кГс.

Система регистрации рассеянных электронов (СРРЭ) для изучения двухфотонных процессов находится между ДМ и линзами. Расстояние между линзами составляет 9,5 м. Для обеспечения высокой светимости ближайшие к детектору линзы имеют большую апертуру.

Основные параметры места встречи при энергии пучка 5 ГэВ следующие:

β -функция по вертикали β_z (см)	20
β -функция по радиусу β_r (см)	300
Радиальный размер пучка σ_r (см)	0,07
Вертикальный размер пучка σ_z (см)	0,002
Продольный размер пучка σ_l (см)	5
Светимость ($\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$)	3×10^{30}
Токи пучков (мА)	9×9
Время жизни (час)	5

3. ОСНОВНЫЕ СИСТЕМЫ ДЕТЕКТОРА

3.1. Магнит

Магнит детектора представляет собой соленоид закрытого типа (рис.3). Габаритные размеры магнита составляют $2,9 \times 5,7 \times 4,4 \text{ м}^3$, внутренние— $2,3 \times 2,3 \text{ м}^2$, зазор 1,8 м. Медная обмотка весом 40 т имеет толщину 32 см и состоит из двух частей, в зазоре между которыми проходит вакуумная камера. Магнитный поток замыкается 400

т стальным ярмом. В нем имеются отверстия для ФЭУ сцинтилляционных и черенковских счетчиков и пазы для установки мюонных камер. Мощность, потребляемая при поле 16 кГс, равна 3,5 МВт.

3.2. Вакуумная камера

На рис.4 показан общий вид вакуумной камеры (В.К.). Это сложное сооружение, снабженное приемниками синхротронного излучения, пробниками, насосами, различными выходными окнами. Основные особенности конструкции связаны с необходимостью выпуска и поглощения синхротронного излучения (СИ), образованного в основном и доворотных магнитах и в ближайших к месту встречи магнитах накопителя.

Место встречи окружено цилиндрическим участком камеры диаметром 40 см и длиной 1 м. Толщина стенок камеры 3 мм дюралюминия. На торцах цилиндра имеются окна из нержавеющей стали толщиной 0,3 мм. Горизонтальный размер камеры около первой линзы достигает 2 м. После доворотного магнита в В.К. имеется окно для выпуска электронов в СРРЭ и измерения светимости по рассеянию на малые углы. Толщина окна 0,17 мм нержавеющей стали. По концам В.К. расположены приемники излучения с отверстиями для выпуска пучков СИ. Специальные коллиматоры прикрывают детектор от излучения, отраженного от приемников.

Для обеспечения в месте встречи высокого вакуума в В.К. установлены магниторазрядные насосы и титановые распылители. Для наблюдения за положением пучков установлены пробники. Дополнительно они дают возможность получать γ -кванты, в том числе и монохроматические.

3.3. Координатные камеры

Регистрация заряженных частиц и измерение их импульсов производится с помощью 38 пропорциональных камер, прикрывающих телесный угол около $0,8 \times 4\pi$. Схема расположения камер показана на рис. 5 и 6.

Максимальный размер камер $0,86 \times 0,9 \text{ м}^2$ (рис.7). Анодные плоскости намотаны позолоченными вольфрамовыми проволочками $\varnothing 28 \text{ мкм}$. Шаг намотки камер, измеряющих импульс, равен 2 мм, а измеряющих вертикальную и косую координату—4 мм. Общее количество каналов электроники 12 тыс. Камеры расположены в двух объемах, которые откачиваются и заполняются газом $\text{Ar} + 20\% \text{CO}_2 + 0,15\% \text{CF}_3\text{Br}$. Толщина входных окон объемов со стороны места встречи 0,5 мм Al .

Телесный угол с анализом по импульсу для одиночных частиц составляет $0,4 \times 4\pi$. Разрешение по импульсу $\sigma_p/p = (5 \div 7)p(\text{ГэВ}/c) \%$ при $V = 12$ кГц. Для многочастичных событий, когда можно для определения импульса использовать точку взаимодействия, анализируемый телесный угол возрастает до $0,6 \times 4\pi$. При этом в добавочном телесном угле разрешение по импульсу составляет $(7 \div 10)p(\text{ГэВ}/c) \%$, а в камерах, расположенных с внешней стороны орбиты, разрешение достигает $1,5p(\text{ГэВ}/c) \%$ для $p \geq 1$ ГэВ/с.

3.4. Ливнево-пробежные камеры

Система ливнево-пробежных камер состоит из 14 отдельных блоков, расположенных внутри магнита (рис.3,5,6). Телесный угол регистрации $0,8 \times 4\pi$. Блок (рис.8) представляет собой «сэндвич» из пропорциональных камер и пластин из нержавеющей стали. Пластины, расположенные с зазором 10 мм, являются катодными плоскостями камер. Толщина пластин 13 мм, максимальные размеры $1,75 \times 0,81$ м², отклонение от плоскостности не превышает 0,3 мм. Один блок состоит из 10 камер, расположенных в объеме из нержавеющей стали, который является несущей конструкцией блока и герметичным объемом для газового наполнения камер [3]. Анодные проволоки соседних плоскостей натянуты взаимно перпендикулярно, шаг намотки 4 мм. Каждая плоскость имеет 16 каналов электроники для измерения координат частиц. Кроме этого, с каждой плоскости выводится один общий сигнал, пропорциональный энергии, потерянной частицами в камере. Ожидаемое энергетическое разрешение [13] для γ -квантов $\sigma_E/E = (40 \div 15) \%$ при $E = 0,15 \div 5$ ГэВ, соответственно. Эффективность регистрации γ -кванта равна 50% при $E = 150$ МэВ и достигает 90% при $E = 250$ МэВ. Точность измерения угла вылета фотона из места встречи $\sigma_\theta \approx \sigma_\varphi \approx (1 \div 2)^\circ$. Измерение пробегов и ионизационных потерь позволяет отделять мюоны от адронов.

3.5. Мюонные камеры

Система мюонных камер состоит из 50 блоков с полезной площадью по 2,3 м² и 10 блоков с полезной площадью 0,9 м². В одном блоке (рис.9) расположены две пропорциональные камеры, измеряющие взаимно перпендикулярные координаты. Каждая крышка объ-

ема является несущей конструкцией одной из камер. Шаг анодных проволочек 4 мм. Для анодной плоскости используется 16 каналов электроники. Камеры работают на газовой смеси $\text{Ar} + 20\% \text{CO}_2$ [3].

Мюонные камеры расположены за обмоткой магнита ($t = 420$ г/см²), внутри ярма (750 г/см²) и за ярмом (1250 г/см²), а также сверху и снизу магнита (1000 г/см²).

3.6. Электроника пропорциональных камер

Основу электроники пропорциональных камер составляют интегральные усилители-формирователи К243АГ1 [14] в немагнитном исполнении с чувствительностью 1 мВ и входным сопротивлением 1,3 кОм. Усилители-формирователи расположены на камерах внутри герметизированных объемов. Выходной сигнал с амплитудой 0,4 В передается по кабелю из витых пар длиной 30 м на логическую часть электроники, находящуюся в пультовой регистрации. Электроника, расположенная на координатных камерах, объединена в модули по 64 канала. Для ливнево-пробежных и мюонных камер модуль состоит из 16 каналов. Модуль ливнево-пробежных камер имеет суммарный линейный выход.

Логическая часть электроники содержит одновибратор задержки на 500 нс, схему совпадений и триггер памяти. В стандартном крейте размещается 960 каналов электроники, плата сигналов быстрого «ИЛИ», интерфейс вторичного триггера и блок вывода. Организация сигнала быстрого «ИЛИ», сформированного из переднего фронта импульса одновибратора, позволяет включить в схему триггера любую часть камеры, а также организовать совпадение или другую логическую операцию между каналами электроники в пределах крейта.

3.7. Сцинтилляционные счетчики

Координатные камеры окружены 24 сцинтилляционными счетчиками, расположенными по граням куба с ребром 1,2 м. На каждой грани установлено 4 счетчика с размерами сцинтиллятора $0,6 \times 0,6$ м². Перекрываемый счетчиками телесный угол составляет $0,9 \times 4\pi$. В счетчиках используется пластмасса NE-110 толщиной 1 см и фотоумножители 56DVP—по одному на каждый счетчик. Фотоумножители располагаются в отверстиях в ярме магнита и окружены магнитными экранами. Для минимально ионизирующих частиц амплитудное разрешение $\sigma_A/A = 20\%$. Разрешение по времени пролета для космических частиц с учетом координаты пролета через сцинтиллятор и амплитуды сигнала $\sigma_{tof} = 0,6$ нс.

3.8. Газовые черенковские счетчики

За сцинтилляционными счетчиками расположены 8 пороговых газовых черенковских счетчиков. Перекрываемый ими телесный угол составляет $0,6 \times 4\pi$. Счетчики заполнены этиленом под давлением 25 атм. Показатель преломления $n = 1,02$, т.е. пороговое значение релятивистского фактора $\gamma = 5$. Счетчики позволяют отделять электроны от мюонов до импульсов $0,5$ ГэВ/с и от пионов до $0,7$ ГэВ/с; π - и K -мезоны разделяются в области значений импульса $0,7 \div 2,5$ ГэВ/с.

Конструкция счетчика показана на рис.10. Он состоит из обечайки и 2-х крышек, стянутых титановыми шпильками. Крышки изготовлены из алюминиевого сплава, их толщина $2,0$ см. Внутренняя поверхность счетчика покрыта диффузно-отражающей краской с высоким коэффициентом отражения. Свет из объема через кварцевые окна и полые зеркальные световоды собирается на 4 фотоумножителя 58DVP. Эффективность регистрации релятивистских частиц равна 97% . Для электронов и позитронов эта величина на $2 \div 3\%$ меньше из-за тормозного излучения и аннигиляции в передней крышке. Регистрация допороговых частиц определяется черенковским светом от δ -электронов, сцинтилляции в этилене малы. Величина допороговой эффективности зависит от скорости частиц, но не превышает 12% . Приведенные выше цифры эффективности относятся к условиям, когда требуется срабатывание хотя бы одного ФЭУ в счетчике. Если требовать срабатывание двух ФЭУ, то допороговая эффективность не превышает 6×10^{-3} , при этом эффективность регистрации релятивистских частиц составляет 80% .

3.9. Система регистрации рассеянных электронов (СРРЭ)

СРРЭ содержит с каждой стороны от места встречи по 6 пропорциональных камер и 3 сцинтилляционных счетчика; 3 камеры измеряют радиальную координату и 3 камеры-вертикальную (рис.11). Конструкция системы подчинена требованию максимально приблизить камеры и счетчики к пучку с внутренней стороны орбиты, а также сверху и снизу. Камеры имеют С-образный вид, рабочий размер камер по радиусу 50 см, по вертикали 20 см. Несущей конструкцией камер являются дюралюминиевые пластины, на которых закреплены рамки из стеклотекстолита.

Радиальная координата измеряется индукционными камерами с кабельной линией задержки [15], погонная задержка 20 нс/см. Точность измерения координаты $\sigma = 0,15$ мм. Вертикальная координата

измеряется обычными пропорциональными камерами со съемом сигнала с анодных проволочек. На всех камерах анодные плоскости намотаны вольфрамовой проволокой диаметром 28 мкм с шагом 4 мм. Катодные плоскости сделаны из бронзовой проволоки диаметром 50 мкм, шаг намотки 1 мм. Рабочий газ $Ar + 25\% C_4H_{10} + 0,25\% CF_3Br + 3\% C_3H_8O_2$.

Сцинтилляционные счетчики изготовлены из пластмассы толщиной 1 см. Перед сцинтилляционными счетчиками помещен вольфрамовый конвертор толщиной $5X_0$. Счетчики служат для подавления фона по измерению времени пролета, а также для уменьшения фона от мягких частиц. По два счетчика с каждой стороны используются одновременно в системе измерения светимости по рассеянию электронов на малые углы.

СРРЭ детектирует электроны, вылетающие под углом $\Theta = 0^\circ$ с потерей энергии $(E_0 - E)/E_0 = 0,1 \div 0,5$. Электроны с энергией пучка E_0 регистрируются в диапазоне углов $\Theta = 12 \div 100$ мрад.

Точность измерения энергии рассеянных электронов определяется рассеянием во входном окне, разрешением камер и размерами пучка. Их вклад в $\sigma_E/E(\%)$ составляет:

Рассеяние во входном окне	$(20/E) \sqrt{t/X_0}$
Разрешение камер	$33 (E/E_0) \sigma_k$
Радиальный размер пучка	$0,09E$
Продольный размер пучка	$4 [E/E_0 \Theta_r - 3 \times 10^{-4} (1 - E/E_0) \sigma_l] \sigma_l$

где E_0 —энергия пучков (ГэВ), E —энергия р.э. (ГэВ), σ_k —пространственное разрешение камер (см), σ_l —продольный размер места встречи (см), Θ_r —проекция на плоскость орбиты угла вылета р.э. (рад), t/X_0 —толщина входного окна системы (рад.ед.).

Минимальная толщина входного окна определяется толщиной поглотителя, необходимого для защиты от синхротронного излучения [10]. На энергии 5 ГэВ эта толщина составляет $0,035X_0$. Расчетное значение точности измерения энергии $\sigma_E/E = 1\%$.

3.10. Система измерения светимости

Оперативное измерение светимости осуществляется по двум процессам: однократному тормозному излучению и рассеянию электронов на малые углы.

В первом случае для регистрации фотонов используются счетчики на основе йодистого натрия [16]. Порог регистрации составляет $0,4$ ГэВ. Сечение регистрации [7] 1×10^{-25} см², фон при светимости 3×10^{30} см⁻² с⁻¹ составляет $0,03\%$ от эффекта.

Измерение светимости по рассеянию электронов на малые углы (1°) производится сцинтилляционными счетчиками, расположенными перед линзами (рис.2). С каждой стороны система состоит из четырех маленьких счетчиков и двух счетчиков, которые используются в СРРЭ. Такая система обеспечивает компенсацию при смещениях и перекосах пучков. Коррелированный фон исключается по времени пролета. Сечение регистрации составляет $5 \times 10^{-28} / E^2$ (ГэВ) см^2 . При светимости $3 \times 10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ фон случайных совпадений равен эффекту.

3.11. Триггер

Триггер [5] организован по принципу иерархии: первичный, вторичный и третичный.

Исходными данными для первичного триггера служат сигналы от сцинтилляционных счетчиков, координатных и ливнево-пробежных камер. Конструктивно первичный триггер размещен в крейте КАМАК. Тип запуска выбирается по команде с магистрали. Первичный триггер за время 300 нс вырабатывает стробирующий импульс, по которому записывается информация с проволочек и начинают работать амплитудно-цифровые, время-цифровые преобразователи и вторичный триггер.

Вторичный триггер работает с информацией, записанной в триггера памяти с координатных, ливнево-пробежных, мюонных камер, сцинтилляционных счетчиков и СРРЭ. Из этой информации, записанной в момент прихода стробирующего импульса, вырабатываются 32 «аргумента», характеризующих событие. Такими аргументами являются число сработавших блоков координатных и ливнево-пробежных камер, геометрическое расположение сработавших блоков, коллинеарность относительно места встречи, число сработавших плоскостей в ливнево-пробежных камерах, число сработавших сцинтилляционных счетчиков и т.д.

Полученный 32-разрядный позиционный код аргументов параллельно поступает на 24 однотипных схем сравнения («маски»), размещенных в крейте КАМАК. С магистрали в каждую маску записано условие срабатывания. В конце цикла работы вторичного триггера производится опрос масок. Если хоть одна из них сработала, производится перепись события в ЭВМ. В противном случае происходит сброс триггеров памяти, аналого-цифровых преобразователей и снятие блокировки первичного триггера. Мертвое время вторичного триггера 9,6 мкс.

В настоящее время частота срабатывания первичного триггера $3 \div 5$ кГц. Частота срабатывания вторичного триггера около 1 Гц.

В качестве третичного триггера в настоящее время работает ЭВМ М-6000. Здесь анализируется информация с аналого-цифровых преобразователей, подробная геометрия события, число сработавших проволочек.

В дальнейшем предполагается в качестве третичного триггера использовать специальный быстрый процессор [17,18], что расширит возможности регистрации двухфотонных процессов.

Основные данные детектора приведены в таблице 1.

3.12. Математическое обеспечение детектора

Управление режимом работы детектора, прием и запись информации на магнитную ленту, а также контроль работы аппаратуры и условий эксперимента осуществляются через модернизированную ЭВМ М-6000, включенную в систему ЭВМ РАДИУС [19]. Оперативная память М-6000 расширена [20] до 256К слов за счет использования полупроводниковой памяти. На ЭВМ используется операционная система реального времени, приспособленная к потребностям эксперимента [21].

В ходе эксперимента детектор обслуживается одной программой. Программа позволяет задавать требуемые условия запуска в первичный и вторичный триггер, запускать и останавливать набор событий, следить за фоновыми условиями, выводить на дисплей картинки событий и т.п. При наборе событий программа выполняет функции третичного триггера. Принятая информация о событиях уплотняется, упаковывается в блоки и передается на центральную ЭВМ системы РАДИУС для записи на магнитную ленту. Основные параметры программы: среднее время считывания события через крейты КАМАК 1 мс, полное время обработки события около 60 мс, средняя длина события в упакованном виде 500 байтов. Система РАДИУС позволяет записывать такие события с частотой до 5 Гц. Потери светимости, связанные с мертвым временем программы, в условиях эксперимента не превышают нескольких процентов.

Контроль работы аппаратуры осуществляется с помощью шести программ:

1. Проверка источников питания.
2. Проверка первичного и вторичного триггера.

3. Проверка регистрирующей аппаратуры на космических частицах.
4. Проверка системы измерения светимости с помощью светодиодов.
5. Проверка индукционных камер СРРЭ с помощью генераторов.
6. Проверка эффективности камер СРРЭ на пучке.

Результаты проверок аппаратуры записываются на магнитную ленту и используются при обработке экспериментальной информации.

Для вычисления сечений регистрации процессов, происходящих в e^+e^- —столкновениях используется разработанная в ИЯФ универсальная программа моделирования^{*)}. Информация, полученная в результате моделирования какого-либо процесса, переписывается на магнитную ленту в формате, принятом для экспериментальной информации. В дальнейшем результаты моделирования используются для выбора триггера, для отладки программ восстановления событий, для сравнения параметров выделенных экспериментальных событий с теоретическими предсказаниями.

Первичная информация, полученная в эксперименте или моделировании и записанная на первичную ленту, перерабатывается затем программой реконструкции событий. Результатом работы этой программы является вторичная лента.

Далее вторичная лента обрабатывается гистограммной программой. Эта программа позволяет вычислять различные параметры для каждого события, строить по этим параметрам одно- и двумерные гистограммы, производить всевозможные распечатки. Отобранные по определенным признакам события переписываются гистограммной программой на третичную ленту.

Для анализа событий разработана программа просмотра событий с магнитных лент на экране дисплея и программа вывода их на АЦПУ. Моделирование различных процессов и обработка экспериментальных и моделированных событий выполняется на ЭВМ ЕС-1060 и ЕС-1040 [22].

^{*)} А.Д.Букин и др. Препринт ИЯФ. Готовится к печати.

4. ФОНОВЫЕ УСЛОВИЯ В ДЕТЕКТОРЕ

4.1. Фон от синхротронного излучения

Решению проблемы фона в детекторе МД-1, обусловленного синхротронным излучением, посвящена работа [10]. Основная идея решения заключается в создании специальной вакуумной камеры, позволяющей проходить синхротронному излучению через детектор, не задевая за стенки вакуумной камеры (рис.4).

Приемники излучения расположены на достаточно большом расстоянии от центра детектора, так что в детектор попадают только фотоны, рассеянные назад. Это приводит к тому, что поток фотонов на центральную часть вакуумной камеры детектора существенно меньше, чем на приемники излучения, особенно в жесткой части спектра.

Подвижные коллиматоры позволяют выбрать оптимальный размер апертуры. Приемники излучения сделаны из меди, охлаждение производится водой. Для уменьшения коэффициента отражения медь покрыта серебром толщиной около 1 мм (это снизило коэффициент отражения в 2 раза).

Такая конструкция вакуумной камеры снижает поток фотонов на центральную часть детектора примерно в 10^6 раз. Дополнительное ослабление достигается за счет фольг, помещаемых на тонкую цилиндрическую часть вакуумной камеры и в окнах перед СРРЭ. Сейчас в цилиндрической части находится $1/30X_0$ Al, $1/40X_0$ Sn и $1/40X_0$ Pb, а перед СРРЭ $1/100X_0$ Fe и $1/40X_0$ Sn.

Фон от синхротронного излучения существенен только для координатных камер и камер СРРЭ; остальные элементы защищены толстым слоем материала. Для простоты анализа событий желательнее, чтобы число сработавших проволочек в камере за одно прохождение пучка не превышало одной. При работе на энергии γ -мезона число сработавших проволочек за одно прохождение пучков при токах 10×10 мА² составляет 1,5 для координатной камеры, ближайшей к пучку, и 0,1 для наиболее удаленной. Для камер СРРЭ соответствующая величина около 0,1.

Экспериментальные данные согласуются с расчетом с точностью до множителя порядка 2.

4.2. Фон, обусловленный гибелью частиц в пучках

Наши измерения [11] показали следующую природу этого фона в детекторе.

Во-первых, в накопителе имеются частицы, покидающие равновесную орбиту и совершающие много оборотов перед их гибелью.

Пространственное распределение плотности этих частиц (гало) довольно широкое и имеет резкие границы. Обрезание гало происходит в точке, где апертура накопителя минимальна. Если такая точка находится вблизи детектора, это приводит к фоновой загрузке. Мы специально ограничиваем апертуру в инжекционной секции с помощью подвижного пробника.

Во-вторых, электроны пучка, теряющие энергию за счет тормозного излучения на остаточном газе в прямолинейной секции перед детектором, заворачиваются магнитным полем и попадают на вакуумную камеру вблизи детектора. Для уменьшения этого фона мы регистрируем тормозные γ -кванты с помощью сцинтилляционных сэндвичей. Загрузка этих счетчиков $3 \div 7$ кГц/мА. Счетчики включены в триггер в режим антисовпадений, что дает уменьшение числа запусков в $3 \div 7$ раз.

В настоящее время на детекторе ведется эксперимент по изучению Υ'' -мезона. Условия триггера выбраны таким образом, что эффективность регистрации многоадронных событий составляет около 95%. При этом скорость записи событий на магнитную ленту при светимости $3 \times 10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ составляет около 1 Гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Р.Грошев и др. В кн.: Пропорциональные камеры. ОИЯИ, Дубна, 1973, стр.48.
2. V.A.Sidorov, J.Physique 35, C2-77, 1974.
3. В.Р.Грошев и др. В кн.: Пропорциональные и дрейфовые камеры. ОИЯИ, Дубна, 1975, стр.81.
4. С.Е.Бару и др. Препринт ИЯФ 77-75, Новосибирск, 1977.
5. С.Е.Бару и др. В кн.: Пропорциональные и дрейфовые камеры. ОИЯИ, Дубна, 1978, стр.272.
6. А.Е.Блинов и др. Препринт ИЯФ 82-93, Новосибирск, 1982.
7. А.Е.Блинов et al, Phys.Letters 113B, 423, 1982.
8. А.С.Артамонов и др. Препринт ИЯФ 82-94, Новосибирск, 1982.
9. А.Е.Блинов и др. В кн.: VIII Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц. Серпухов, 1982.
10. А.П.Онучин, Ю.А.Тихонов. Препринт ИЯФ 77-77, Новосибирск, 1977.
11. S.E.Varu et al. In: Proc.of the Int. Conf. on Instr. for Colliding Beam Physics. SLAC, Stanford, 241, 1982.
12. А.С.Артамонов и др. В кн.: VIII Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц. Серпухов, 1982.
13. А.Е.Блинов и др. Препринт ИЯФ 82-125, Новосибирск, 1982.
14. С.Е.Бару и др. ПТЭ №4, 105, 1975.
15. А.Е.Бондарь и др. Препринт ИЯФ 82-17, Новосибирск, 1982.
16. М.Д.Минаков и др. ПТЭ №4, 58, 1980.
17. С.Е.Бару и др. Препринт ИЯФ 77-76, Новосибирск, 1977.
18. Г.А.Аксенов и др. В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. Новосибирск, 1981, стр.70.
19. В.А.Сидоров и др. Управляющие системы и машины, №1, стр.101, Киев, 1978.
20. В.Ш.Банзаров и др. Препринт ИЯФ 82-134, Новосибирск, 1982.
21. Б.Н.Шувалов. Препринт ИЯФ 82-11, Новосибирск, 1982.
22. А.Д.Букин и др. Препринт ИЯФ 82-13, Новосибирск, 1982.

Детектор МД-1.

Магнит	\vec{B} перпендикулярно плоскости орбиты. $B_{max} = 16$ кГс, $B = 12$ кГс при $E_0 = 5$ ГэВ.
Координатные камеры	38 камер, шаг 2 и 4 мм. $\sigma_p/p = (5 \div 10)p$ (ГэВ/с) %.
Сцинтилляционные счетчики	24 счетчика, $40 \times 40 \times 1$ см ³ $\sigma_A/A = 20\%$, $\sigma_{tot} = 0,6$ нс.
Черенковские счетчики	8 счетчиков, $160 \times 70 \times 20$ см ³ , $0,6 \times 4$ л, этилен, 25 атм. $(p_L)_{пор} = 0,7$ ГэВ/с, $(p_K)_{пор} = 2,5$ ГэВ/с. $\epsilon_1(\beta = 1) = 97\%$, $\epsilon_1(\beta < \beta_{пор}) < 0,12$. $\epsilon_2(\beta = 1) = 80\%$, $\epsilon_2(\beta < \beta_{пор}) < 6 \times 10^{-3}$
Ливнево-пробежные камеры	14 блоков, $10 \times (13$ мм Fe + 10 мм газ), газ Ag + 20% CO ₂ , 1 атм. $\sigma_E/E = (40 \div 15)\%$ для $E_\gamma = (0,15 \div 5)$ ГэВ. $\epsilon_\gamma = 50\%$ для $E_\gamma = 0,15$ ГэВ, $\epsilon_\gamma > 90\%$ для $E \gtrsim 0,25$ ГэВ, $\sigma_e \sim \sigma_\mu \sim (1 \div 2)\%$
Мюонные камеры	50 камер $2,3$ м ² , 10 камер $0,9$ м ² , $(p_\mu)_{пор} = (0,75 \div 2,1)$ ГэВ/с.
Система регистрации рассеянных электронов	12 камер, $\sigma_r = 0,1$ мм, $\sigma_z = 1,3$ мм. Для $\theta = 0$ $(E_0 - E)/E_0 = 0,1 \div 0,5$. Для $E = E_0$, $\theta = 12 \div 100$ мрад, $\sigma_E/E = 1\%$.
Измерение светимости	1. $e e \rightarrow e e \gamma$, счетчики NaJ(Tl) 2. $e e \rightarrow e e$ на малые углы, сцинтилляционные счетчики.

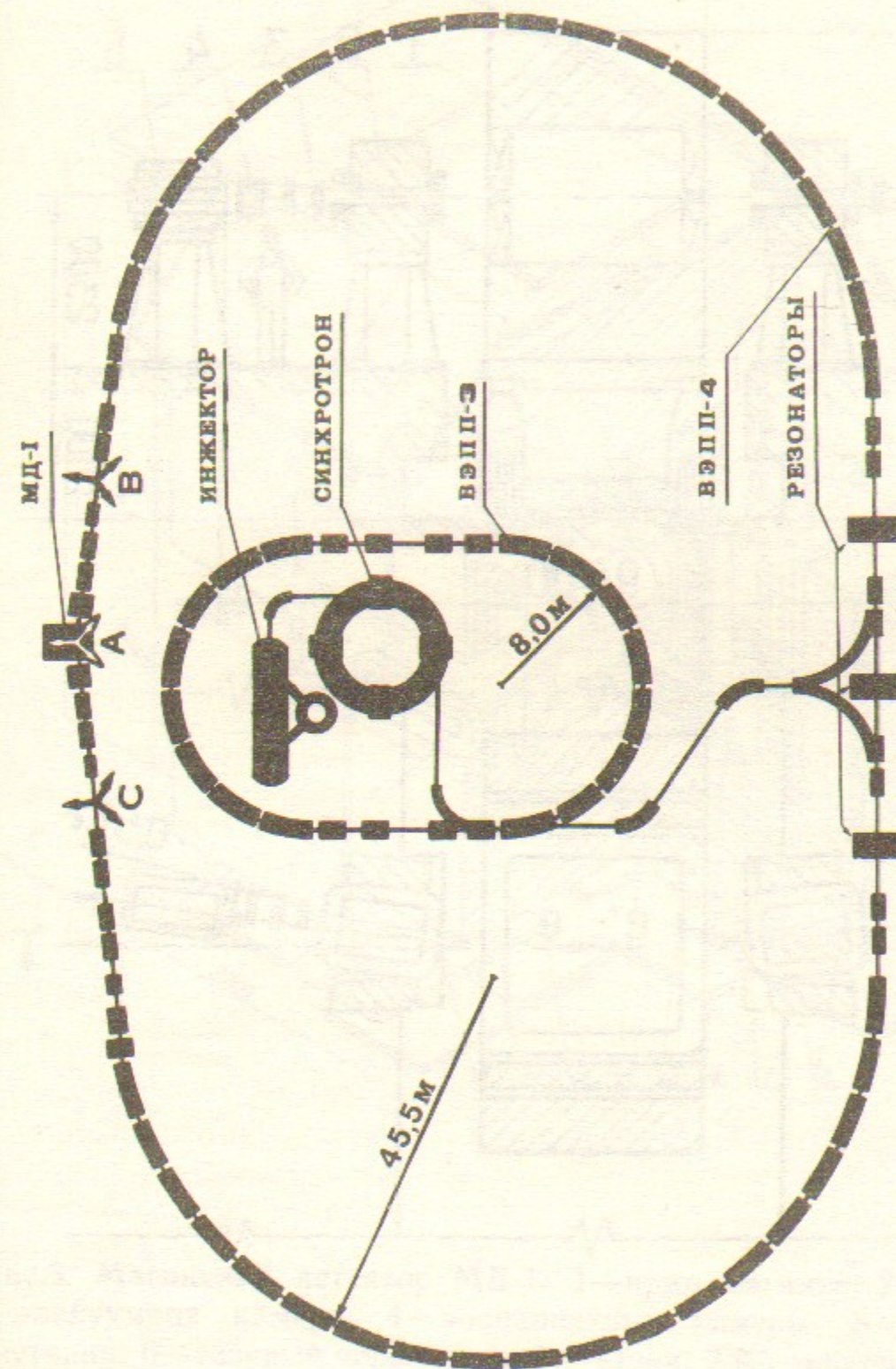


Рис. 1. Схема накопителя ВЭПП-4.

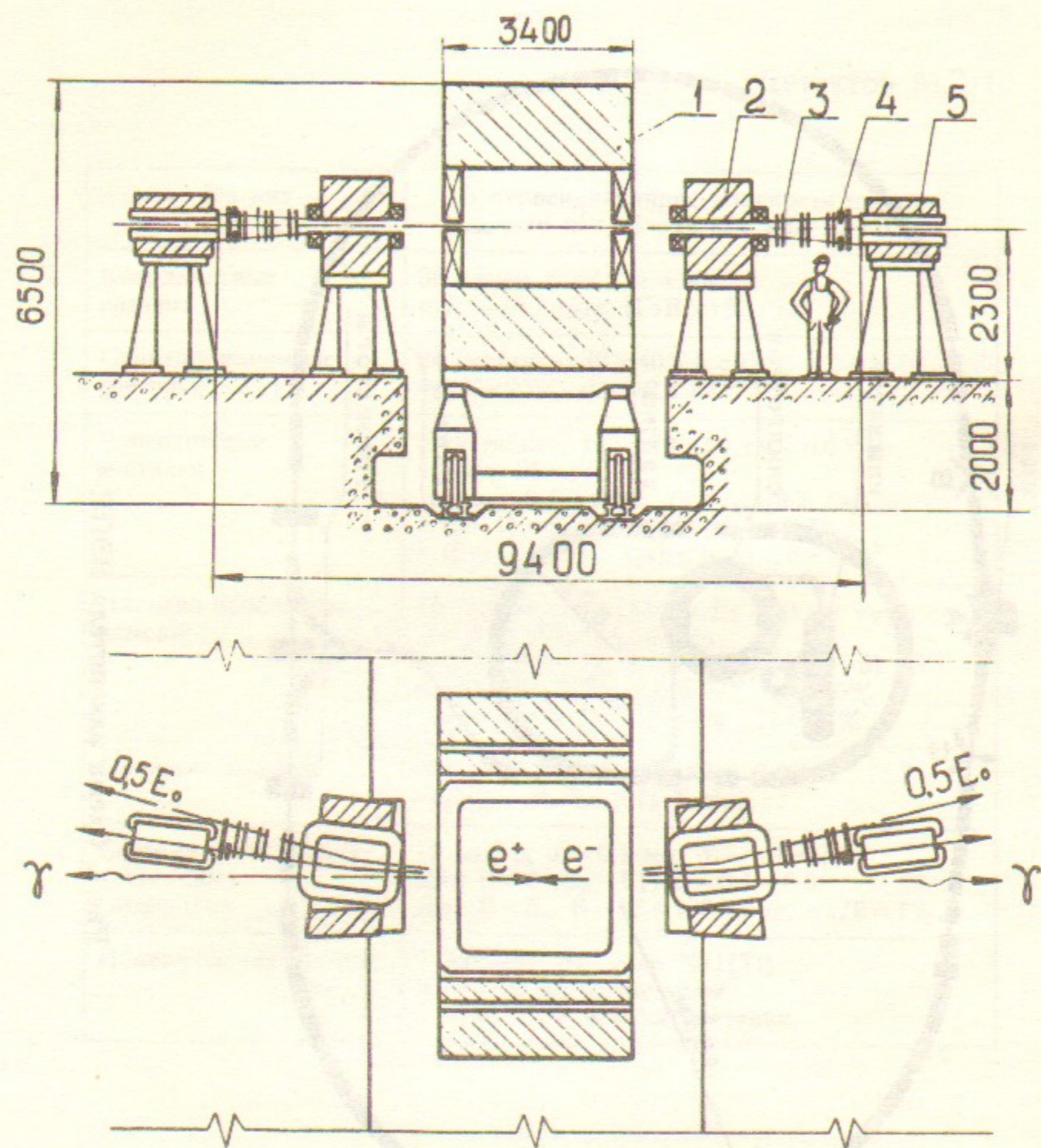


Рис.2. Центральное место встречи: 1—детектор МД-1, 2—поворотные магниты, 3,4—система регистрации рассеянных электронов и измерения светимости, 5—линзы.

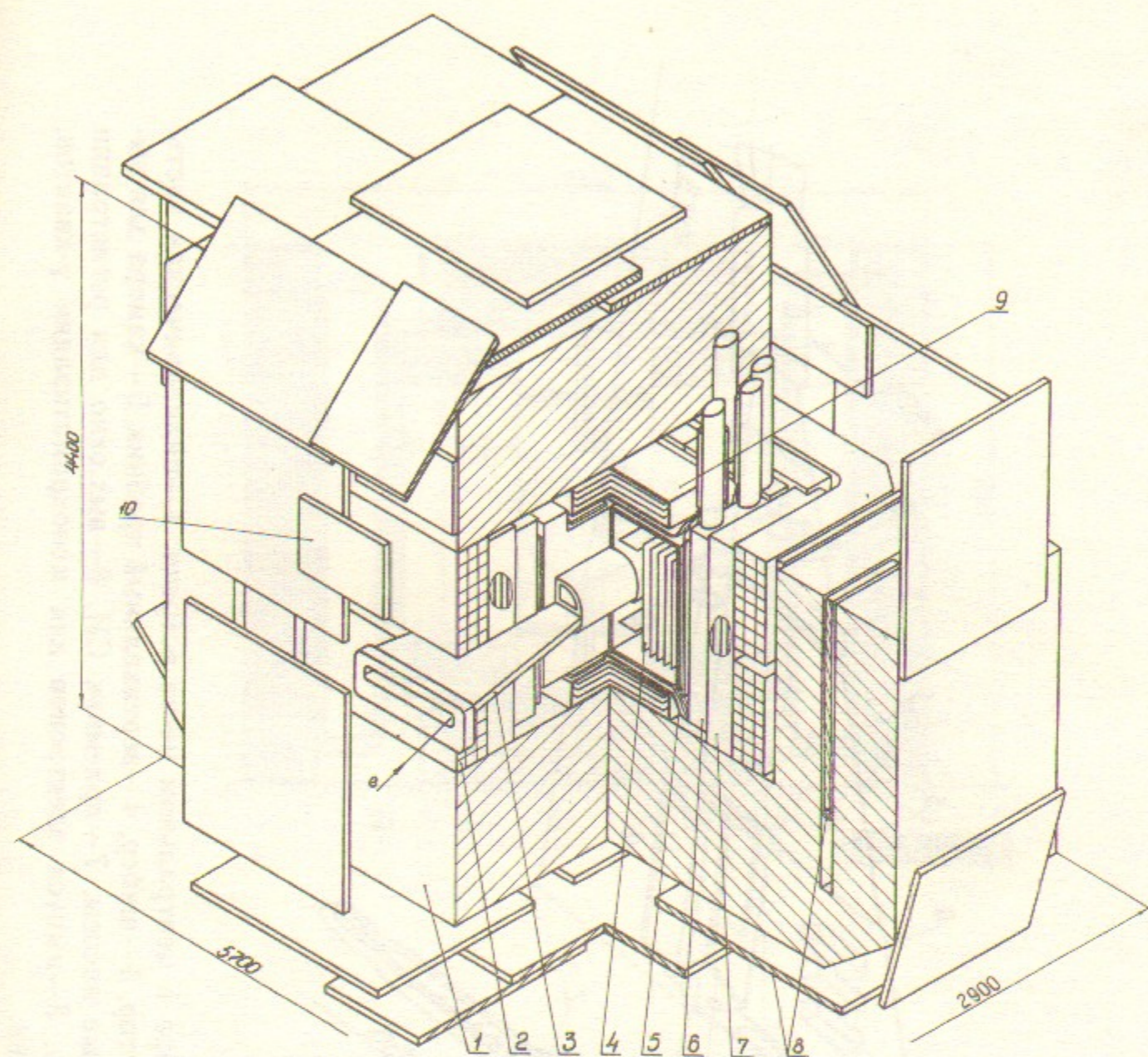


Рис.3. Магнитный детектор МД-1: 1—ядро магнита, 2—медная обмотка, 3—вакуумная камера, 4—координатные камеры, 5—сцинтилляционные счетчики, 6—газовый черенковский счетчик, 7,9—ливнево-пробежные камеры, 8—мюонные камеры.

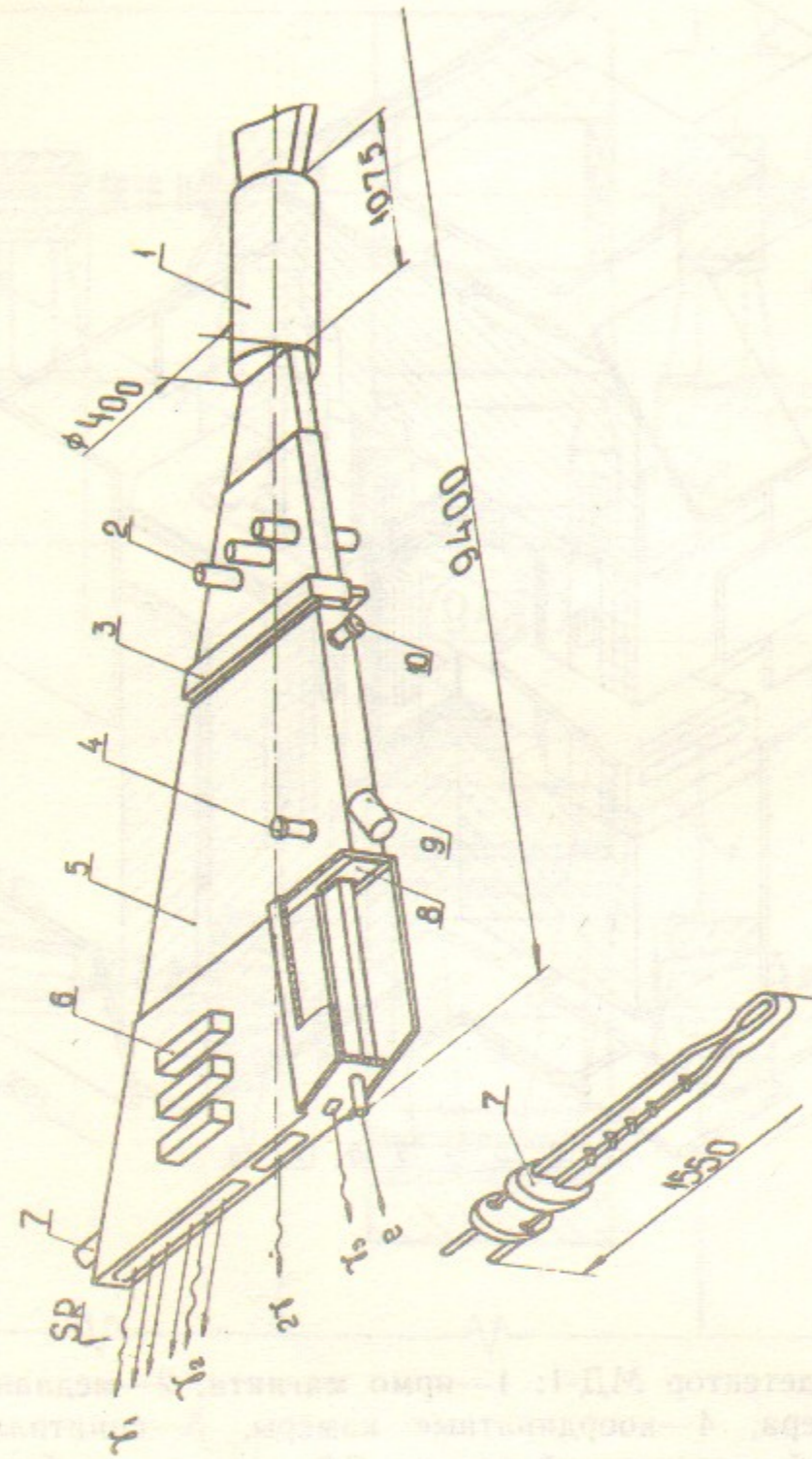


Рис.4. Вакуумная камера в центральном месте встречи. 1—цилиндрическая часть, 2—подвижный коллиматор, 3—шибер, 4—вертикальный пробник, 5—камера для выпуска СИ, 6—вакуумные насосы, 7—приемник СИ, 8—вых.окно для регистрации рассеянных электронов, 9—выпуск электронов для монохроматизации γ -квантов, 10—радиальный пробник.

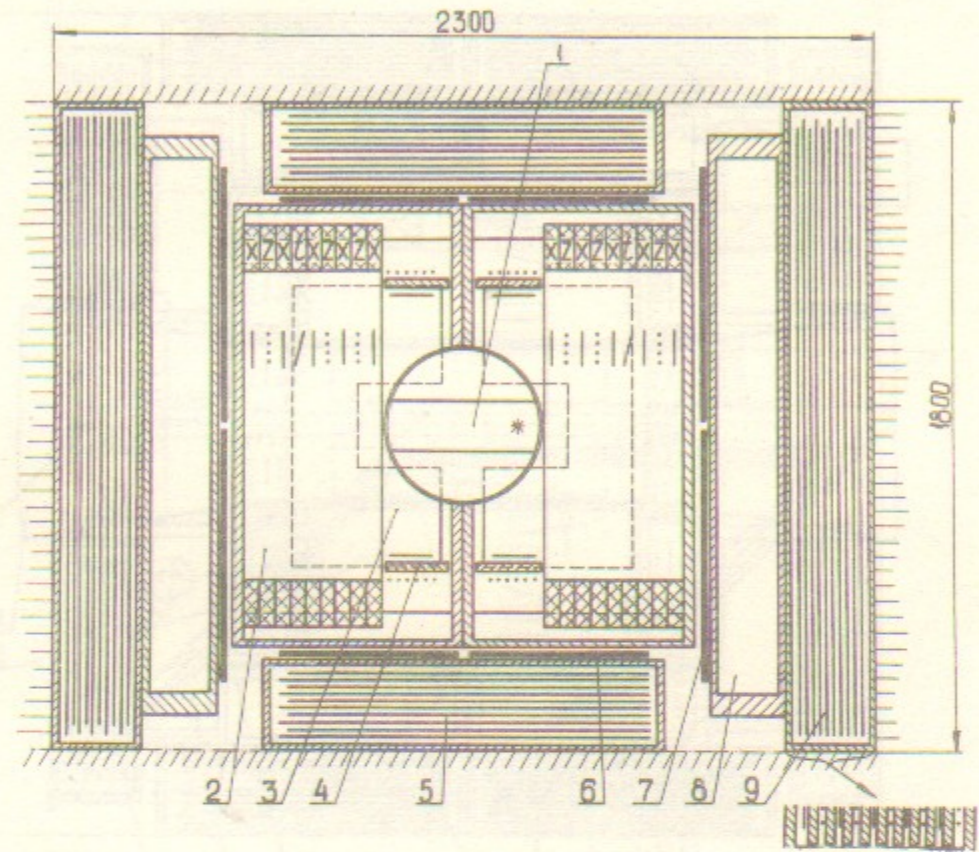


Рис.5. Внутренняя часть детектора МД-1, вид с торца: 1—вакуумная камера; 2,3,4—координатные камеры; 5,9—ливнево-пробежные камеры; 6,7—сцинтилляционные счетчики; 8—черенковский счетчик.

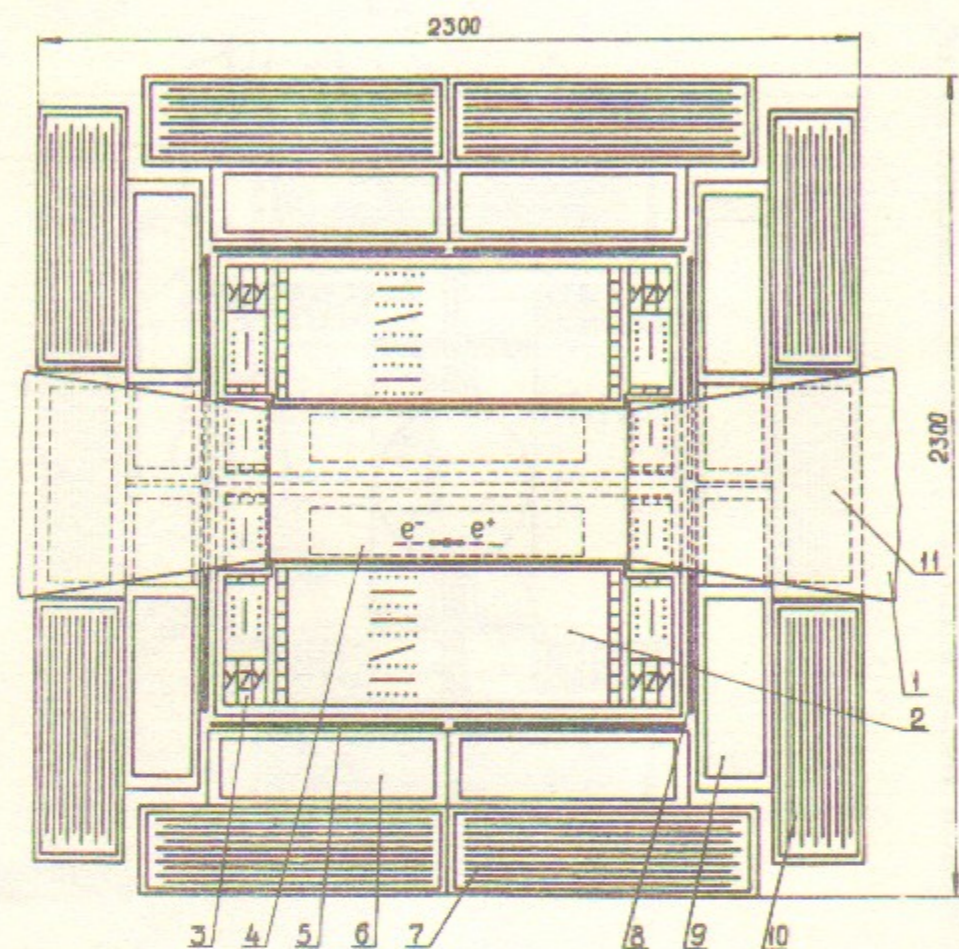


Рис.6. Внутренняя часть детектора МД-1, вид сверху: 1—вакуумная камера; 2-4—координатные камеры; 5,8—сцинтилляционные счетчики; 6,9—газовые черенковские счетчики; 7,10,11—ливнево-пробежные камеры.

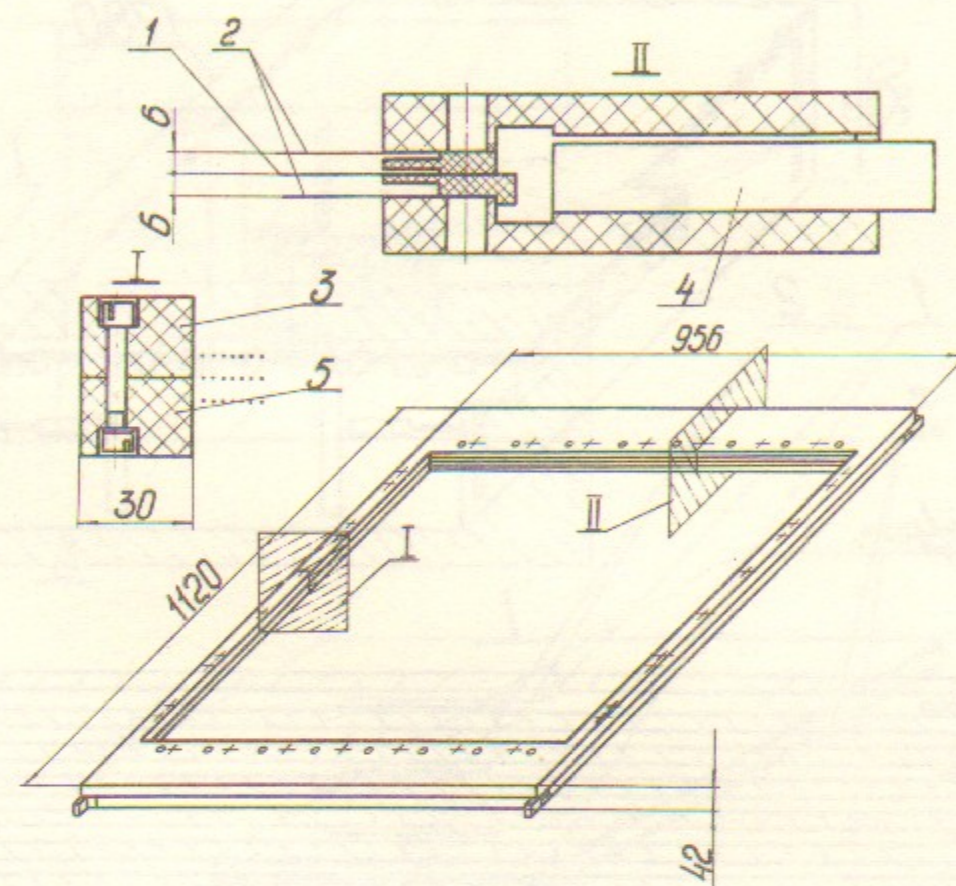


Рис.7. Координатная камера: 1—анодные проволочки, 2—катодные проволочки, 3,5—стеклотекстолитовые рамки, 4—электроника.

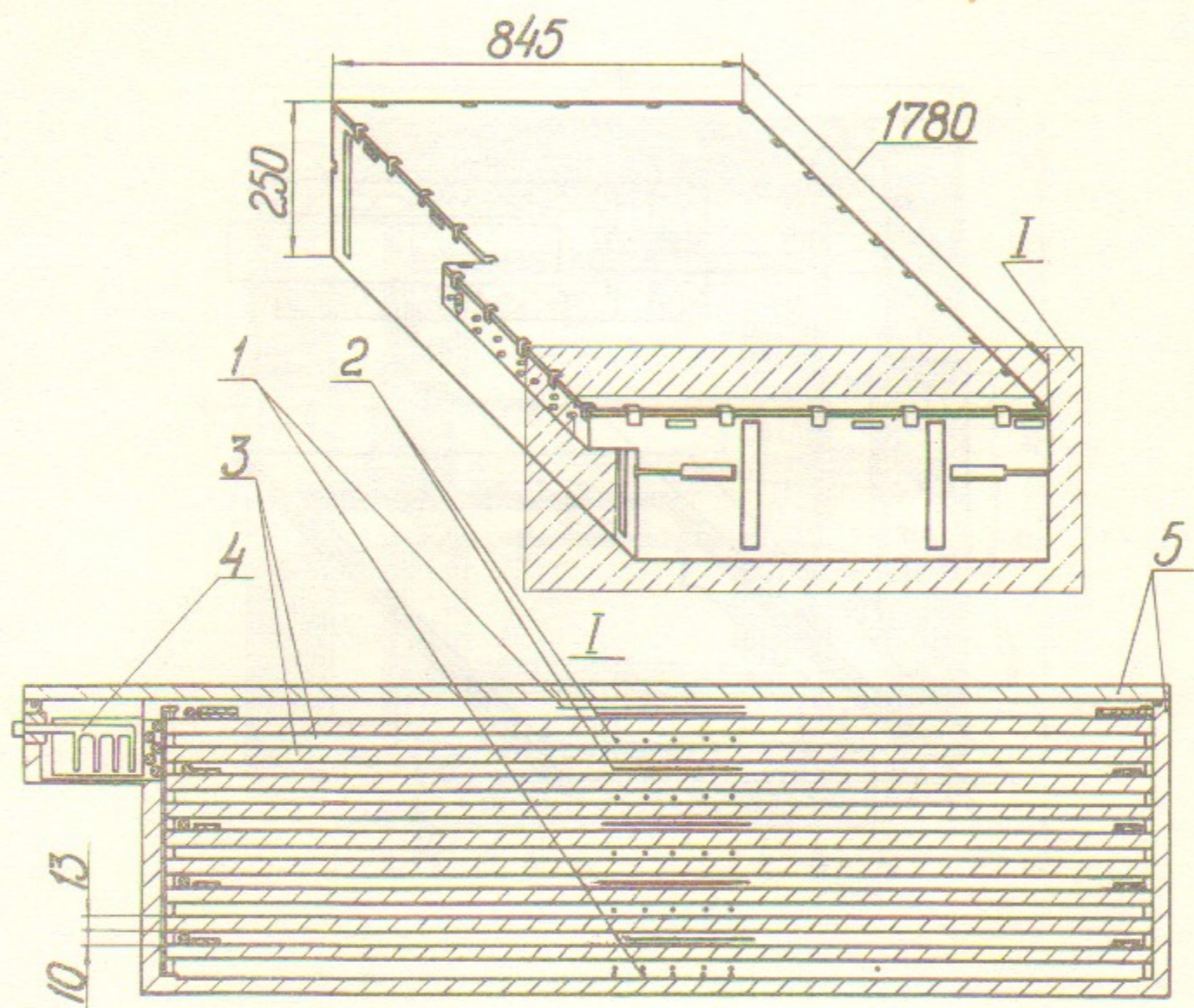


Рис.8. Ливнево-пробежная камера: 1—катодные проволочки, 2—анодные проволочки, 3—пластины из нержавеющей стали, 4—электроника, 5—объем из нержавеющей стали.

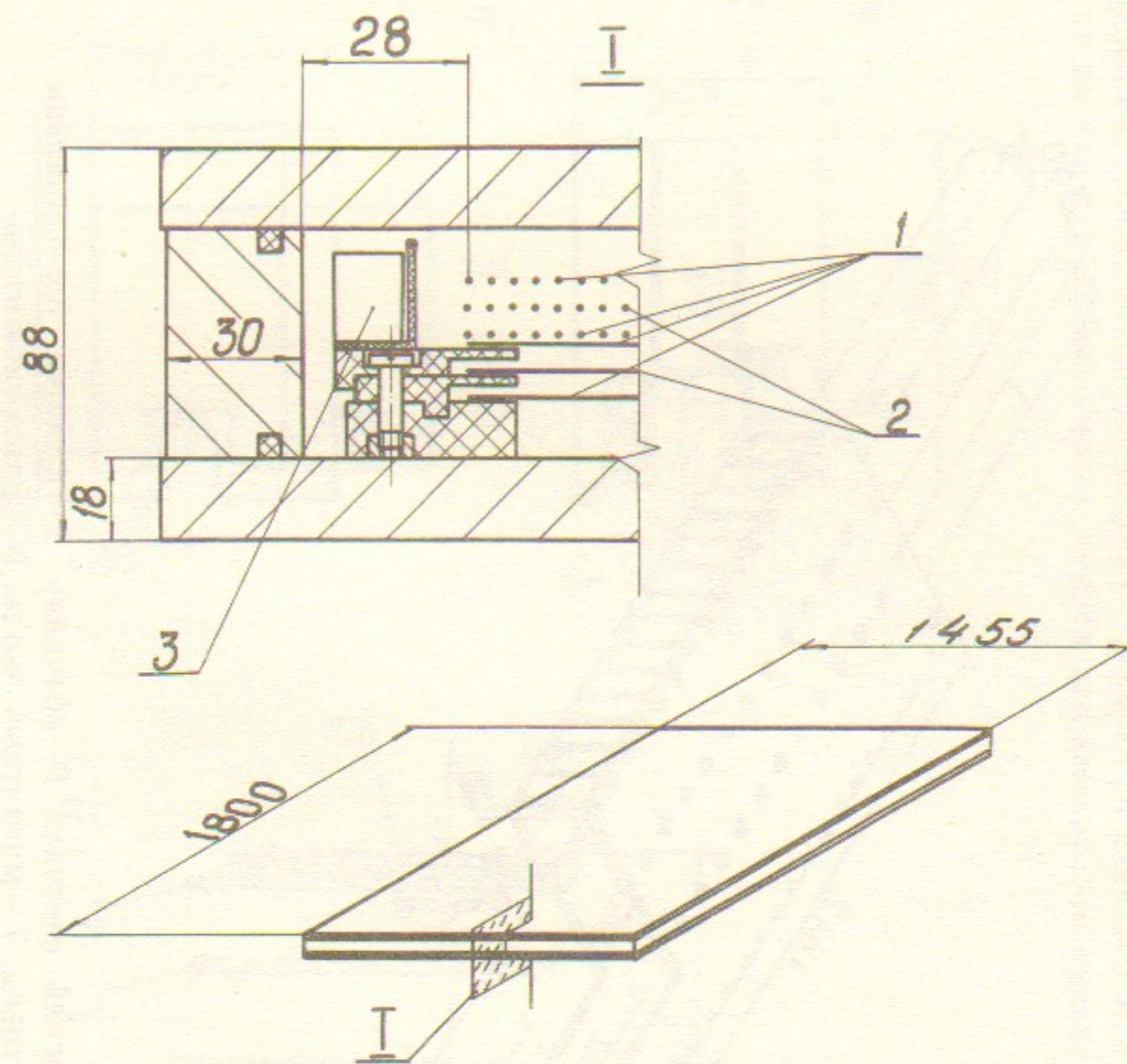


Рис.9. Мюонная камера: 1—катодные проволочки, 2—анодные проволочки, 3—электроника.

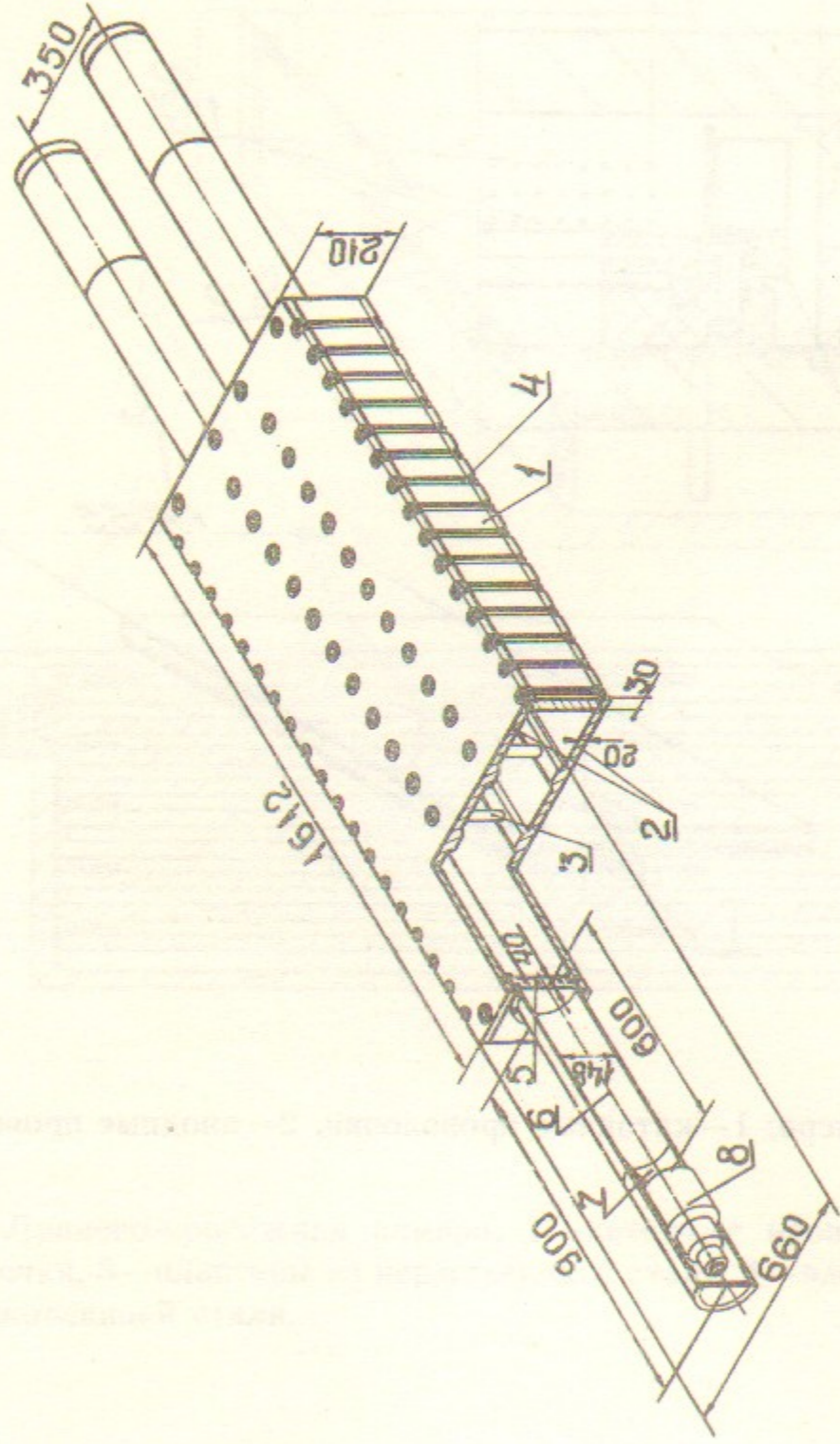


Рис.10. Газовый черенковский счетчик: 1—обечайка, 2—крышки, 3,4—шпильки, 5—кварцевое окно, 6—световод, 7—магнитный экран, 8—фотоумножитель.

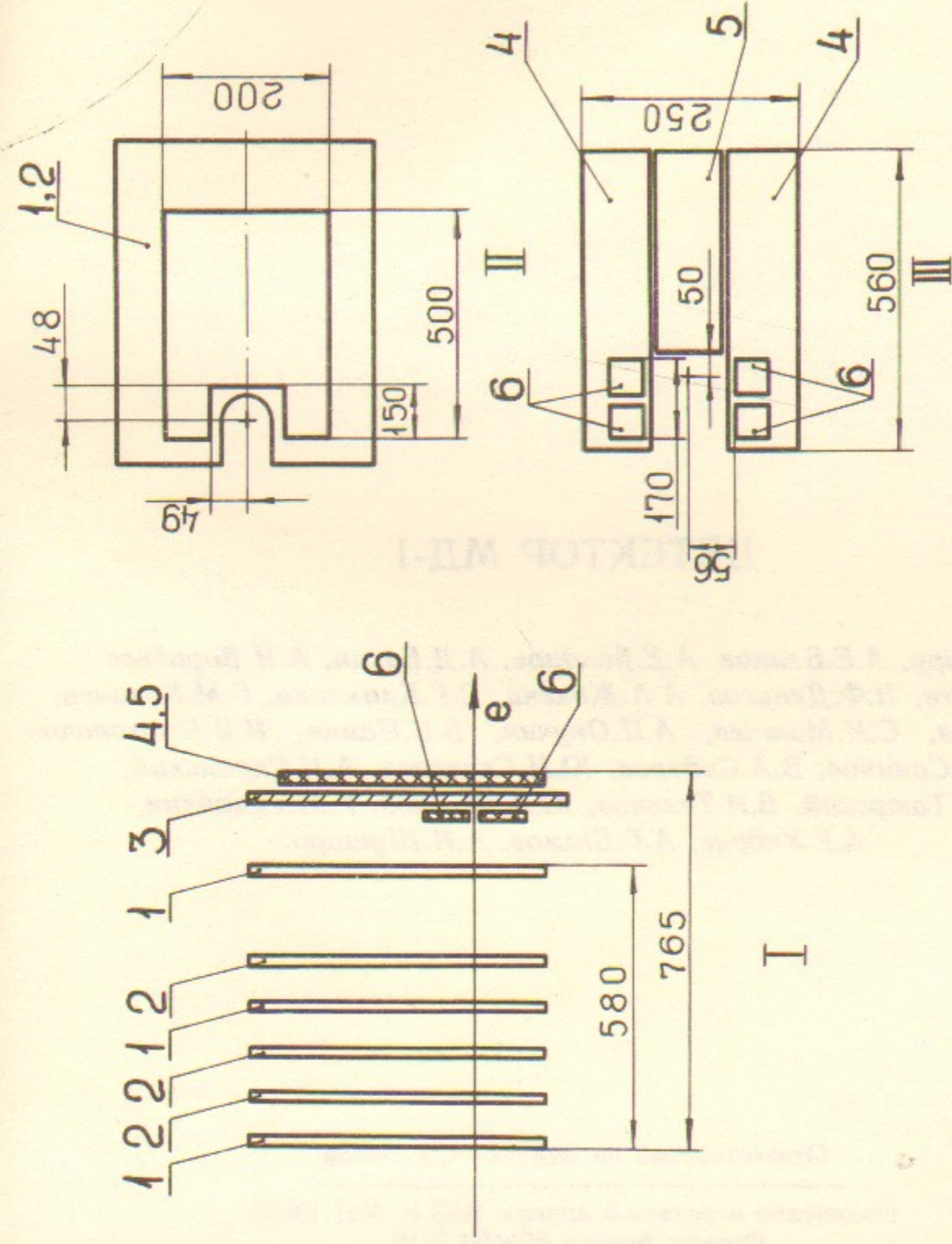
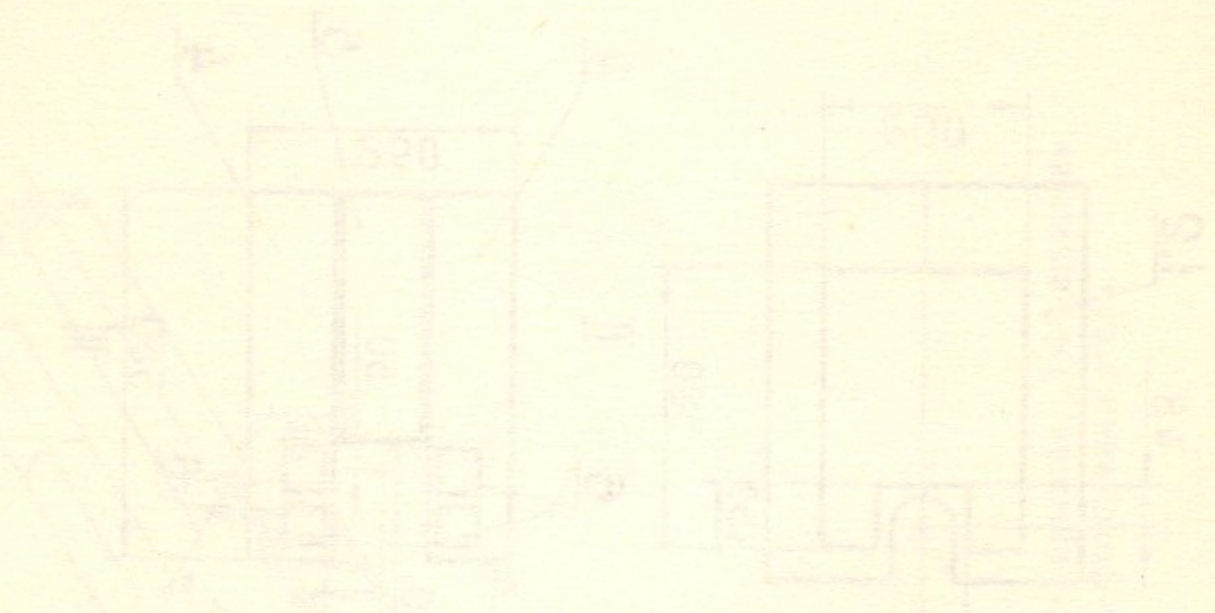


Рис.11. Система регистрации рассеянных электронов. I—вид сверху, II—вид на камеру по пучку, III—вид на счетчики по пучку: 1—камеры для измерения радиальной координаты, 2—камеры для измерения вертикальной координаты, 3—конвертор, 4 и 5—счетчики в СРРЭ, 4 и 6—счетчики для измерения светимости.



ДЕТЕКТОР МД-1

*С.Е.Бару, А.Е.Блинов, А.Е.Бондарь, А.Д.Букин, А.И.Воробьев
В.Р.Грошев, Н.Ф.Денисов, А.А.Жоленц, С.Г.Клименко, Г.М.Колачев,
Г.Д.Минаков, С.И.Мишнев, А.П.Онучин, В.С.Панин, И.Я.Протопопов,
Г.А.Савинов, В.А.Сидоров, Ю.И.Сковпень, А.Н.Скринский,
В.А.Таюрский, В.И.Тельнов, Ю.А.Тихонов, Г.М.Тумайкин,
А.Е.Ундрус, А.Г.Шамов, А.И.Шушаро.*

Ответственный за выпуск — С.Г.Попов

Подписано в печать 5 апреля 1983 г. МН 10089

Формат бумаги 60×90 1/16.

Объем 0,8 печ.л., 0,7 учетно-изд.л.

Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 39

Набрано в автоматизированной системе на базе фотонаборного автомата ФА-1000 и ЭВМ «Электроника» и отпечатано на ротапринтере Института ядерной физики СО АН СССР,

Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11