

5170

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13-5170



С.М. Коренченко, А.Г. Морозов, К.Г. Некрасов,
Ю.В. Роднов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

МАГНИТНЫЙ ИСКРОВОЙ СПЕКТРОМЕТР
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕДКИХ РАСПАДОВ
И ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЧАСТИЦ

1970

P13-5170

С.М. Коренченко, А.Г. Морозов, К.Г. Некрасов,
Ю.В. Роднов

**МАГНИТНЫЙ ИСКРОВОЙ СПЕКТРОМЕТР
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕДКИХ РАСПАДОВ
И ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЧАСТИЦ**

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

S u m m a r y

A cylindrical spark chamber placed in the 9000 Oe magnetic field is described which has been designed for studying the rare decays and interactions of pions and muons. The chamber is 40 cm in diameter and 30 cm high. The total number of gaps is 18 and the size of each gap is 5mm. The solid angle viewed by the chamber is about 6 steradian. The coordinates along the axis of the cylinder are measured with the help of a prismatic device which was not used for the spark chamber technique earlier. The chamber is filled with neon. To obtain the necessary purity of neon the continuous purification system was applied. The chamber operation is controlled by the TV system.

The chamber is triggered by the hodoscope system consisting of 19 scintillation counters. Some of the scintillators are placed inside the chamber. Pulses from photomultipliers are displayed, in addition, on the 5-ray oscilloscope screen. The spectrometer permits the search for decays with the branching ratios of the order of 10^{-8} - 10^{-9} .

1. В в е д е н и е

Для исследования очень редких процессов нужна аппаратура, обладающая большим телесным углом и в то же время обеспечивающая хорошее пространственное и временное разрешение, возможность измерять импульсы, энергии и знаки частиц, с тем чтобы надежно отделять исследуемое редкое событие от фоновых событий. Ниже описывается предназначенная для этих целей установка, состоящая из цилиндрической искровой камеры с малыми зазорами, помещенной в магнитном поле, и системы сцинтилляционных счетчиков, импульсы от которых используются для управления камерой, а также для дополнительного временного и амплитудного анализа на 5-лучевом скоростном осциллографе. Общий вид установки показан на рис. 1. Искровая камера позволяет получить хорошее пространственное разрешение, а наличие магнитного поля дает возможность определять импульс и заряд частиц. Сцинтилляционные счетчики обеспечивают высокие временные свойства системы. То обстоятельство, что камера сделана цилиндрической, позволяет наблюдать процессы распада, происходящие в мишени в телесном угле 5-6 стерadian.

Установка рассчитана на исследование распадов, имеющих вероятность 10^{-8} - 10^{-9} от обычного распада.

2. Конструкция камеры

Камера представляет собой набор концентрических цилиндров из алюминия толщиной 0,05 мм с зазором между ними 5 мм. Цилиндры из-

готовляются путем свертывания алюминиевой фольги. Всего в камере имеется 18 рабочих зазоров. Цилиндры центрируются относительно друг друга с помощью колец из плексигласа. Для уменьшения вероятности пробоа по поверхности плексигласа применяются дополнительные изолирующие кольца толщиной 0,75 мм. Элементы сборки камеры приведены на рис. 2. В местах стыков фольги в зазоре между цилиндрами вдоль образующей вставлены изолирующие планки, имеющие форму, показанную на рис. 2. Наружный и внутренний цилиндры, образующие замкнутый объем камеры, выточены из дюрала. Наружный цилиндр имеет внешний диаметр 390 мм, толщину стенки 4 мм и высоту 325 мм. Внутренний цилиндр имеет диаметр 135 мм, толщину стенки 0,25 мм и высоту также 325 мм. Объем, заключенный между этими цилиндрами уплотняется с помощью крышек, сделанных из плексигласа. Для уплотнения использована вакуумная резина, вставленная в выточки, имеющиеся в крышках. Одна из крышек, для удобства называемая дальше нижней, служит для крепления всех цилиндров, подвода и отвода газа, ввода импульсного питания камеры.

Сквозь нижнюю крышку выводятся через уплотняющую систему световоды от сцинтилляторов, помещенных внутри камеры. На нижней же крышке установлена аппаратура для крепления сцинтилляторов, расположенных снаружи вокруг камеры, и всех световодов. Верхняя крышка камеры представляет собой линзу специальной формы, через которую происходит фотографирование объема камеры.

Как уже упоминалось, внутри и снаружи камеры помещены сцинтилляторы, которые служат для управления ее работой. Для того, чтобы можно было регистрировать γ -кванты, возникающие при исследовании различных процессов, внутрь камеры помещены свинцовые конверторы. Величина конвертора может меняться в зависимости от конкретных требований эксперимента. При необходимости в камере можно устанавливать два конвертора. Расположение рабочих зазоров в камере, сцинтилляторов и конверторов видно на рис. 3.

В качестве рабочего газа используется неон. Рабочее давление 1 атм. Необходимая для эффективной работы камеры чистота неона поддерживается путем непрерывной циркуляции газа через замкнутую сис-

тему очистки. Газ прогоняется с помощью специального вибрационного насоса производительностью ≈ 6 л/мин. Очистка газа производится в ловушке, заполненной активированным углем и охлаждаемой жидким азотом. Как показал опыт, даже при натекании в камеру воздуха при длительном перерыве в работе камеры система очистки обеспечивает необходимую чистоту рабочего газа.

Камера помещена в поле магнита-соленоида величиной ≈ 9000 гаусс.

3. Оптическая система камеры

Схема оптики камеры показана на рис. 4. Для того, чтобы можно было видеть глубокие и узкие зазоры на всю глубину камеры, ее фотографирование производится в параллельных лучах, которые затем отклоняются линзой (3). Отклоненные линзой лучи попадают в объектив (2) и проектируются на пленку (1). Фокусное расстояние линзы, с целью уменьшения габаритов всей установки, выбрано сравнительно небольшим - 72 см. Такое фокусное расстояние при диаметре линзы 390 мм заставило отказаться от обычной сферической формы линзы. Только центральная ее часть имеет сферическую поверхность. Периферическая поверхность линзы образована вращением вокруг ее оси кривой, составленной из отрезков окружностей различного радиуса, причем центры этих окружностей смещены относительно оси линзы.

Координаты по глубине камеры (z -координаты) получают с помощью специального призматического устройства, ранее не применявшегося в методике искровых камер. Традиционный способ получения z -координаты в цилиндрической камере /1,2/ заключается в том (рис. 5), что за нижней крышкой (5) камеры помещается наклонное зеркало (7), которое дает на пленке второе, дополнительное изображение искры. При этом расстояние второго изображения от основного (d) пропорционально расстоянию искры от зеркала ($d = AB \operatorname{tg} 2\alpha$). Этот способ обладает рядом недостатков, которые делают невозможным его применение в описываемом конкретном случае, а именно:

а) требуется очень высокая точность юстировки зеркал (неточность в определении z - координаты $\Delta z \approx 2 \Delta \alpha$);

б) нижняя крышка должна обладать высокими оптическими свойствами, так как через нее дважды проходит изображение (к зеркалу и от него);

в) наличие зеркал и системы их юстировки практически делает невозможным вывод световодов через нижнюю крышку, установку необходимой арматуры, точно так же становится невозможно подать высоковольтный импульс на электроды камеры;

г) вдобавок ко всему сказанному глубина пространства, которое должно резко изображаться на снимке, равна двойной глубине камеры.

Авторами был использован другой принцип определения z - координаты. Сущность его ясна из рис. 4. Под верхней крышкой в зазоре камеры устанавливается призма (5). Толщина этой призмы равна примерно половине величины зазора. Таким образом, половина изображения искры проходит прямо на объектив, а другая половина попадает в объектив, пройдя предварительно через призму. На пленке появляется два изображения, расстояние между которыми d пропорционально расстоянию от искры до призмы ($d \approx AB = AO \cdot \lg \beta$). Если призма сделана из вещества с коэффициентом преломления $n \approx 1,5$, то $\beta \approx \alpha/2$. И в этом случае неточность $\Delta z \approx 1/2 \Delta \alpha$. Таким образом, нижняя крышка полностью освобождается от каких-либо деталей, связанных с фотографированием. При этом требования к точности выполнения угла α призмы в четыре раза меньше, чем к точности юстировки угла α наклона зеркала. Ясно, что глубина пространства, которое должно резко изображаться на снимке, в случае использования призм равна глубине камеры.

Всего в установке поставлено около 500 призмочек из плексигласа. Причем сначала было изготовлено несколько длинных призм, которые были затем разрезаны на части толщиной приблизительно 2 мм. Угол α призмы выбран равным 15° .

Фотографирование камеры производится с помощью фотокамеры РФК-5 на 35-миллиметровую пленку чувствительностью 1000 ед.ГОСТ. Относительное отверстие 1:11. Коэффициент линейного уменьшения при проектировании на пленку 1:20. Сам аппарат установлен перпендикулярно оси

камеры. Отклонение изображения производится с помощью зеркала толщиной 1 мм. Такая система позволяет свободно вводить пучок частиц в камеру со стороны линзы.

4. Блок импульсного питания камеры

Собственная емкость цилиндрической искровой камеры, конструктивные данные которой приведены выше, составляет величину свыше 8000 пф, поэтому для эффективной работы камеры высоковольтный генератор должен в нагрузке за время 10^{-8} сек развить ток ≈ 5000 ампер.

Такой ток может обеспечиваться схемой генератора на разрядниках $^{3,4/}$. В целях повышения эффективности камеры при одновременной регистрации нескольких частиц и улучшения однородности свечения разрядов питание камеры осуществлено от пяти разрядников типа ВИР-5.

Уменьшение зависимости работы отдельных искровых промежутков друг от друга обеспечивается кабельной системой подачи питания от разрядника к каждому промежутку. Отдельные промежутки имеют емкость от 530 до 1400 пф.

Одинаковые параметры высоковольтного импульса на каждом промежутке обеспечиваются подбором соответствующих разрядных емкостей и нагрузочных сопротивлений.

Параметры высоковольтного импульса на входе камеры следующие: передний фронт импульса ≈ 30 нсек, время спада ≈ 150 нсек, задержка относительно входа схемы запуска ≈ 50 нсек, амплитуда напряжения ≈ 4 кв.

5. Телевизионная система контроля работы камеры

Контроль работы камеры осуществляется с помощью телевизионной установки типа ПТУ-2М. Введение контроля дает возможность быстро проверить готовность установки в целом к работе и позволяет вести качественную оценку регистрируемых процессов в ходе экспозиции на ускорителе.

В заводском варианте установка ПТУ-2М не приспособлена к передаче изображения разрядов искровой камеры, так как имеет недостаточ-

ное для получения контрастного изображения кратковременного разряда ($\approx 10^{-7}$ сек) отношение сигнал-шум и малый коэффициент усиления предварительного усилителя с трубки ЛИ-23. Добавочный предварительный усилитель на двух транзисторах П416Б с формированием сигнала обращенным туннельным диодом поднимает усиление в 20 раз и улучшает отношение сигнал-шум. Возможность самовозбуждения была устранена сужением полосы пропускания предварительного усилителя. Для устранения влияния рассеянного магнитного поля магнита приемная трубка ЛИ-23 вместе с отклоняющей и фокусирующей системой защищена магнитным экраном. Изображение на мишень трубки подается с помощью полупрозрачного зеркала, установленного перед объективом фотокамеры РФК-5.

6. Сцинтилляционные счетчики и осциллограф

Камера управляется с помощью сцинтилляционных счетчиков. Всего в установке используется 25 сцинтилляторов и 19 фотоумножителей (рис.3). Двенадцать сцинтилляторов расположены внутри камеры. Размер каждого "внутреннего" сцинтиллятора 270x74x5 мм. Эти сцинтилляторы приклеены к плоским световодам эпоксидной смолой. Плоские световоды выводятся через резиновые уплотнения и собираются по два на один световод. Снаружи вокруг камеры расположены 8 сцинтилляторов размером 270x170x10 мм каждый. Внутри камеры помещается мишень, которая в настоящее время сделана из сцинтиллирующей пластмассы. Импульсы от мишени также поступают на фотоумножитель. Вокруг мишени располагаются еще три сцинтиллятора толщиной 3 мм, образующие цилиндр диаметром 128 мм и высотой 210 мм. Поскольку фотоумножители не могут работать в магнитном поле, они отнесены на расстояние 30 см от магнита. Световые импульсы к ФЭУ подводятся с помощью цилиндрических световодов длиной 60 см, не считая "обычного" световода для сбора света с плоского сцинтиллятора на круглый световод. На всех световодах установлены световые источники /5/, которые могут включаться в любой комбинации. Тем самым осуществляется контроль работы электроники.

Импульсы от фотоумножителей поступают на схемы быстрой электроники /6,7/. Конкретная блок-схема электроники, естественно, зависит от задачи. Помимо быстрых схем, импульсы от ФЭУ поступают также на скоростной пятилучевой осциллограф /8/. Запускается осциллограф одновременно с запуском камеры. Экран осциллографа фотографируется с помощью фотокамеры РФК-5. Регистрация импульсов от ФЭУ на осциллографе позволяет проводить временной анализ с высоким разрешением (0,5 нсек), а также осуществлять амплитудный анализ сигналов.

7. Система регистрации и индикации

Поскольку камера и развертка осциллографа могут срабатывать значительно чаще, чем регистрирующие фотокамеры, сигнал с выхода схемы управления предварительно поступает на схему с большим мертвым временем, регулируемым в соответствии с временными данными киноаппаратов. Для индикации номера кадра используется полупроводниковый декадный 5-разрядный счетчик. В целях индикации этого счетчика поставлены дополнительные усилители мощности, с тем чтобы можно было одновременно зажигать три индикаторные лампы. Эти индикаторные лампы, расположенные особым образом, удобным как для чтения числа, так и для автоматической регистрации, фотографируются обоими киноаппаратами. Система записи - двоично-десятичная.

8. Характеристики камеры

Точность локализации трека в камере была проверена при регистрации космических частиц. Она оказалась равной 0,4-0,5 мм в плоскости фотографирования. Точность измерения z -координаты составила ≈ 5 мм. Особый интерес представляло исследование смещения разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях. Такое исследование было проведено авторами данной работы /9/. Оказалось, что ранее принимавшаяся в ряде работ /10-13/ линейная зависимость смещения от магнитного поля справедлива лишь для полей ≈ 2000 гаусс.

Авторы показали, что можно с малыми погрешностями восстановить положение трека ионизирующей частицы. Более того, наличие контролируемого смещения разряда дает возможность по каждому фиксируемому кадру оценить относительное время событий и повысить разрешающую способность искровой камеры по времени. При величине очищающего поля 40 в/см в магнитном поле 8000 гс можно отличать события, разделенные временем 60 нсек (смещение за 0,4 мксек $2\delta \approx 0,5$ мм). Важно также было определить способность камеры регистрировать несколько треков одновременно.

Результаты измерений, проведенных на треках позитронов от распада μ^+ -мезонов, приведены в таблице.

Число одновременно регистрируемых треков	1	2	3	4
Эффективность отдельного промежутка в %	94	80	60	48

Данные получены при наличии очищающего напряжения 20 в/см, которое было выбрано в качестве рабочего, и задержке запускающего импульса 0,4 мксек.

Таким образом, в камере вполне надежно может регистрироваться не менее четырех треков.

Примеры некоторых событий, зарегистрированных в камере, приведены на рис. 6 и 7.

Л и т е р а т у р а

1. В.С. Кафтганов, В.А. Любимов. Труды V конференции по ядерной электронике. Том 3, стр. 5, М., 1963.
2. E.F. Beall, W. Holley, D. Keefe, L.T. Kerth, J.J. Thresher, C.L. Wang, W.A. Wenzel. Nucl.Instr. and Meth., 20, 205 (1963).
3. Н.А. Бугров, Ю.Т. Киселев, В.И. Ушаков. ПТЭ, №2, 104 (1964).
4. С.М. Коренченко, К.Г. Некрасов. Препринт ОИЯИ, 1720, Дубна, 1964.

5. В.И. Наумов, М.Н. Омеляненко, В.И. Рыкалин, В.Ф. Титова. ПТЭ, 4, 65 (1966).
6. Ю. Г. Будяшов, В.Г. Зинов, А.Г. Морозов. Препринт ОИЯИ, 2430, Дубна, 1965.
7. С.М. Коренченко, К.Г. Некрасов, А.Г. Морозов. Препринт ОИЯИ, 2262, Дубна, 1966.
8. Ю.В. Роднов. Препринт ОИЯИ, 2035, Дубна, 1965.
9. С.М. Коренченко, А.Г. Морозов, К.Г. Некрасов. Препринт ОИЯИ 1965; ПТЭ №5, 72 (1966).
10. Proc. of Intern. Conf. an Instr. for High Energy Phys. Berkeley, New-York, London (1960).
11. Вопросы физики элементарных частиц. Издание АН Арм.ССР, Ереван, 1963.
12. Принципы и методы регистрации элементарных частиц, ИЛ, М., 1963.
13. М.И. Дайон, В.М. Князев, Г.А. Марикян. ПТЭ, 1, 54 (1965).

Рукопись поступила в издательский отдел

10 июня 1970 года.

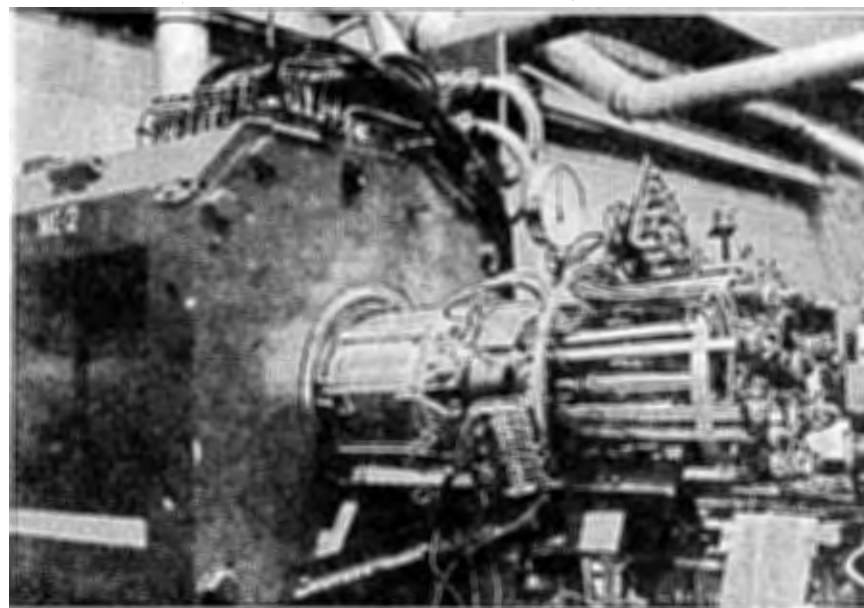


Рис. 1. Общий вид установки.

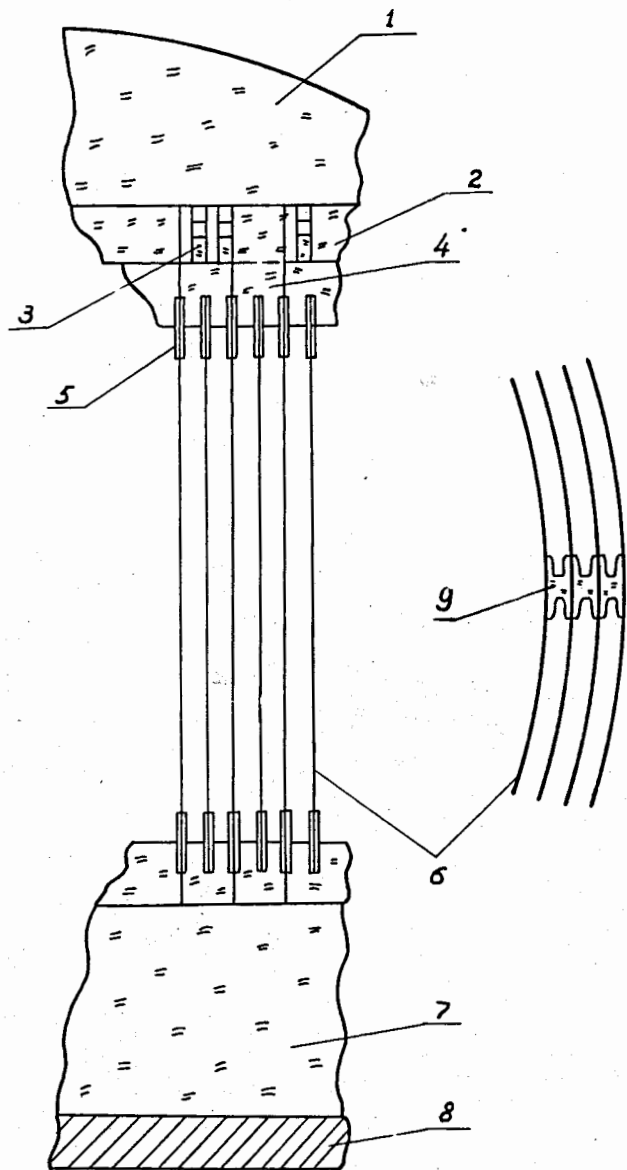


Рис. 2. Элементы сборки камеры. 1 - линза, 2 - разделительные кольца, 3 - призмы, 4 - изолирующие кольца, 5 - дополнительные изолирующие кольца, 6 - алюминиевая фольга, 7 - нижняя крышка, 8 - дюралевая накладка, 9 - изолирующие планки.

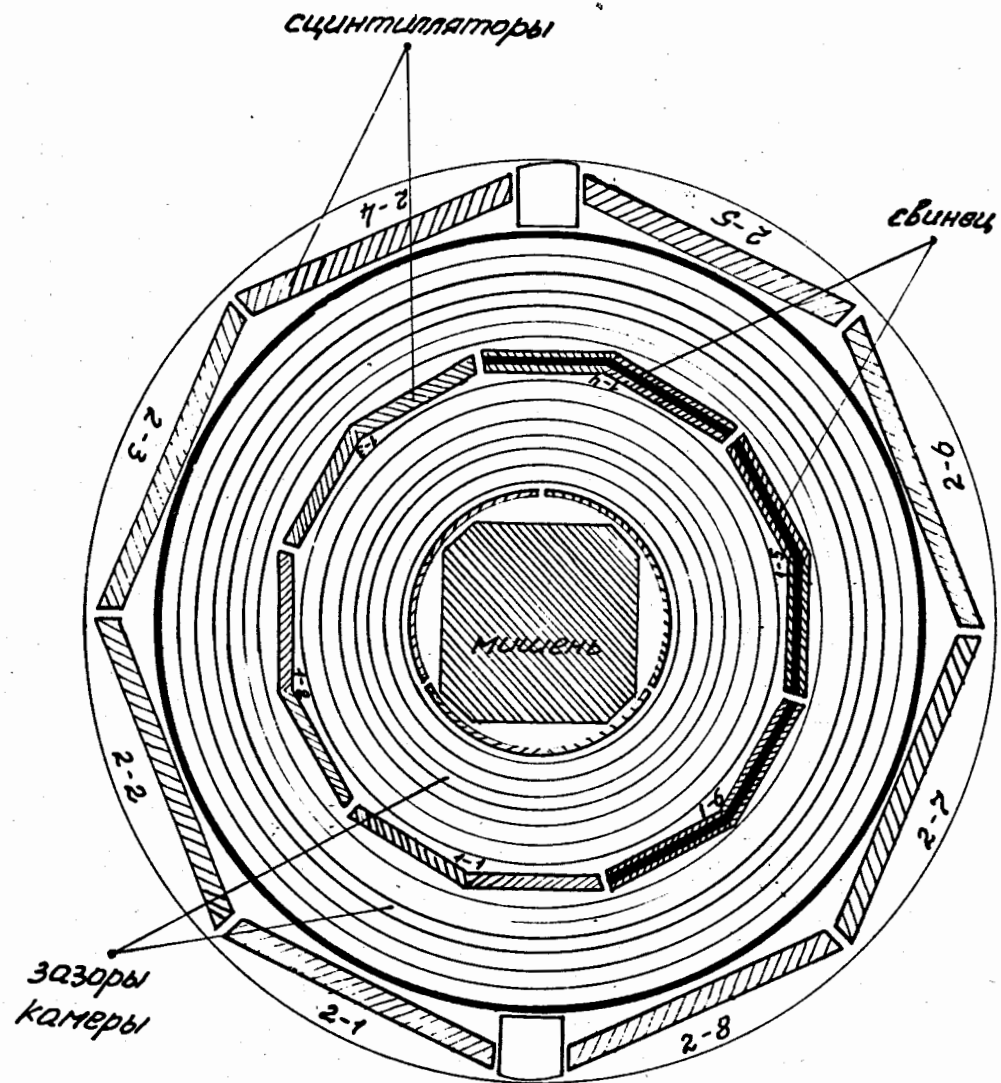


Рис. 3. Поперечный разрез камеры.

Рис. 4. Схема оптики камеры. 1 - фото-
 пленка, 2 - объектив, 3 - линза, 4 -
 крышка камеры, 5 - призма, 6 - искра.

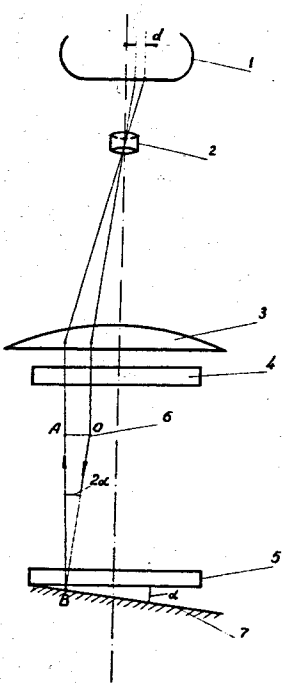
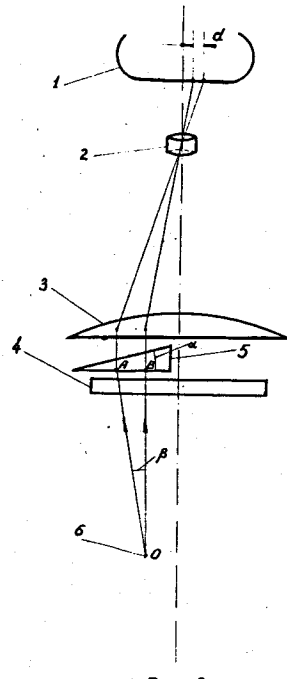


Рис. 5. Схема определения z -координаты с помощью зеркала. 1 - фото-
 пленка, 2 - объектив, 3 - линза, 4 - верхняя крыш-
 ка камеры, 5 - нижняя крышка камеры, 6 - искра, 7 - зеркало.

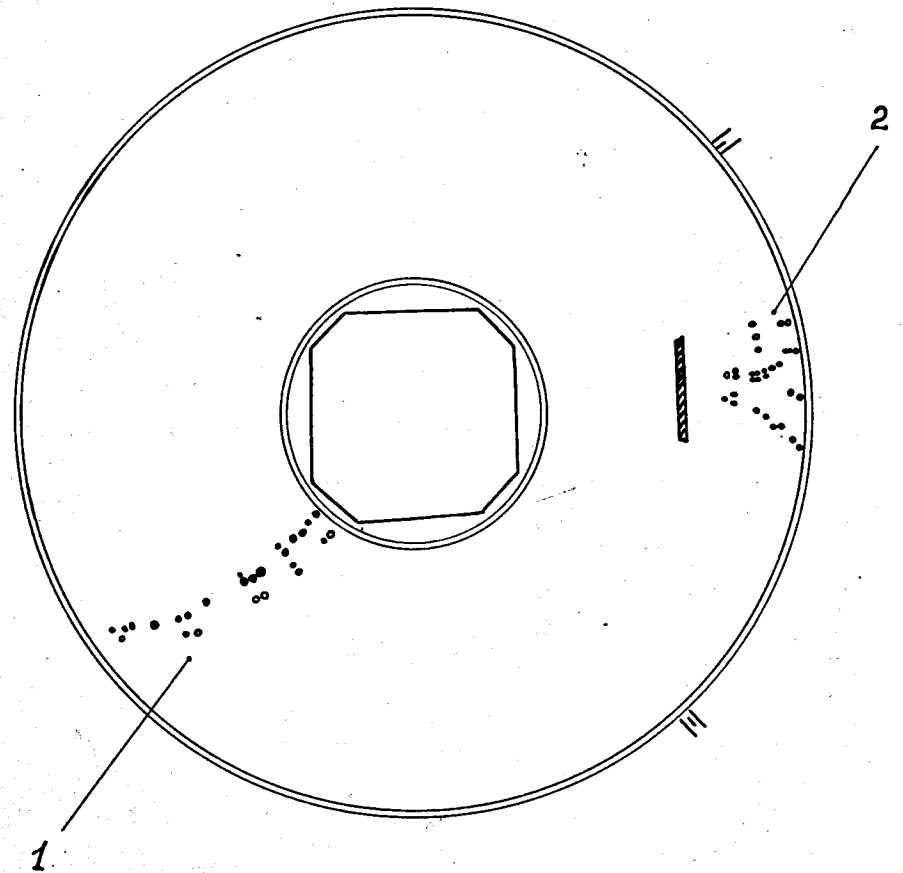


Рис. 6. Распад $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu + \gamma$. 1 - трек позитрона, 2 - пара
 e^+e^- от конверсии γ -кванта в свинце. На фотографии для наглядности
 показаны контуры камеры, мишени и свинца. Точки "сдвинутого" трека,
 необходимые для определения z -координаты, ретушированы (сделаны
 контурными).

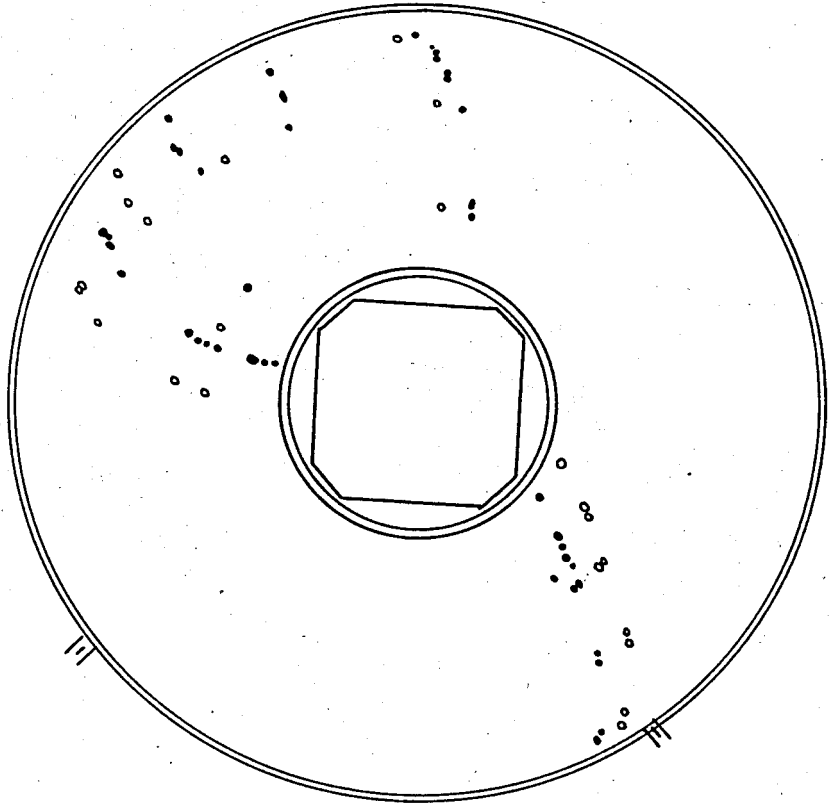


Рис. 7. Треки позитронов от распада $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \nu_\mu$. Часть спирального трека проходит вне камеры.