

С 344.1
Ш - 548

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

13 - 4456

В.М.Шешунов

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
БОЛЬШИХ ИСКРОВЫХ КАМЕР И СИСТЕМЫ ИХ ПИТАНИЯ
ДЛЯ МАГНИТНОГО СПЕКТРОМЕТРА ЧАСТИЦ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

Специальность 260 - приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

А.Ф. Писарев

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

Б.М. Головин

кандидат физико-математических наук

Б.А. Кулаков

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Ленинградский физико-технический институт

Автореферат разослан " " 1969 г.

Защита диссертации состоится " " 1969 г.

на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Адрес: г. Дубна, Московской области, Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных проблем.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

О.А. Займидорога

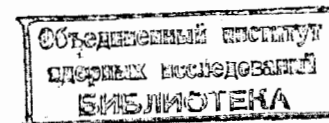
13 - 4456

В.М.Шешунов

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
БОЛЬШИХ ИСКРОВЫХ КАМЕР И СИСТЕМЫ ИХ ПИТАНИЯ
ДЛЯ МАГНИТНОГО СПЕКТРОМЕТРА ЧАСТИЦ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Специальность 260 - приборы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук



В в е д е н и е

В последние годы быстро растет количество работ, выполняемых на ускорителях частиц высоких энергий с помощью искровых камер. Это обстоятельство связано с целым рядом бесспорных преимуществ, которыми обладают искровые камеры по сравнению с другими методами трековой регистрации частиц. К ним относятся, прежде всего, простота устройства камер, большая их светосила, достигающая до 4π , малое время разрешения и небольшое мертвое время, которые могут быть уменьшены до 0,1 мксек и 0,1 мсек, соответственно. Важным качеством искровых камер является также возможность управляемой регистрации выборочных событий с помощью электронных систем селекции. Эти ценные качества позволяют использовать искровые камеры в опытах по проведению исследований как на сепарированных, так и на несепарированных пучках вторичных частиц в присутствии большего фона постороннего излучения. В камерах можно регистрировать несколько событий взаимодействия за один импульс излучения ускорителя. Особенно выгодно использовать методику искровых камер в комбинации с магнитным полем, так как хорошая локализация искр по ионизированным следам частиц в газе дает возможность с большой точностью измерять их импульсы и энергию. Размещение искровых камер внутри магнита позволяет также надежно проводить иден-

тификацию различных реакций и детально анализировать кинематику взаимодействующих частиц практически при любых энергиях.

Такая установка, состоящая из искровых камер с большой площадью электродов и большего магнита, в настоящее время сооружается в Объединенном институте ядерных исследований для проведения опытов на пучках частиц с энергией 70 Гэв ускорителя в Серпухове. Эта установка, называемая магнитным искровым спектрометром (МИС), представляет собой прибор универсального типа, пригодный для широкого класса исследований упругих и неупругих процессов при высоких энергиях частиц.

Диссертация посвящена разработке и исследованию главной части спектрометра – системы искровых камер и системы их питания. Для выполнения этой задачи потребовалось решить ряд научно-технических проблем. Прежде всего необходимо было теоретически и экспериментально определить оптимальный зазор в искровых камерах, при котором сохраняется высокая ливневая эффективность регистрации частиц и малое время памяти. Такие данные по искровым камерам в литературе отсутствовали. Затем требовалось разработать технологию изготовления искровых камер площадью электродов – $145 \times 135 \text{ см}^2$, центральная часть которых содержала бы малое количество вещества. Камеры должны были обладать хорошей механической и электрической прочностью, высокими вакуумными свойствами и хорошими оптическими качествами. Технология изготовления камер столь большого размера вообще отсутствовала.

Для питания камер требовалось разработать сильноточные и высоковольтные генераторы, которые были бы надежны и долговечны в работе. Решение этой проблемы потребовало проведения широкого цикла исследований импульсных разрядников и создания нового типа разрядника, так как уже известные не удовлетворяли требованиям надежности и долговечности.

Наконец, требовалось разработать и исследовать специальную высокопроизводительную систему очистки газа в спектрометре, а также разработать метод быстрого и точного контроля относительной чистоты газа. В практике разработки физических приборов такие системы и методы контроля чистоты газа отсутствовали.

Разумеется, при решении этих задач потребовалось попутно разработать ряд сложных технических устройств для изготовления камер и генераторов и их эксплуатации. К ним относятся, главным образом, специальный фрезерный станок для резки плоского стекла на длинные полоски, устройства для натяжения и подклейки фольги к электродам, специальный стол для склейки камер, система для дифференциального наполнения искровых камер рабочим газом, система высоковольтных блоков питания, электронная система запуска генераторов и другие устройства.

После изготовления и исследования отдельных узлов аппаратуры потребовалось провести исследования работы всей аппаратуры в едином комплекте. Здесь прежде всего надо было изучить ливневую эффективность спектрометра, эффективность системы очистки газа и контроля его чистоты, устойчивость работы аппаратуры во времени, и определить основные технические данные всего прибора.

Решение указанных проблем изложено в семи главах диссертации. В первых двух главах рассматривается теория газового разряда в приложении к искровым камерам. Там же рассматриваются и качественные теории ливневой эффективности искровых камер. В третьей и четвертой главах дана технология изготовления камер и генераторов и обсуждаются результаты исследований искровых разрядников и работы генераторов на искровую камеру. Пятая глава посвящена описанию системы очистки и контроля газа. В шестой главе описываются опыты по изучению ливневой эффективности искровых камер с различной величиной межэлектродного зазора, и делается выбор за-

зора для больших искровых камер спектрометра. В седьмой главе приведены электронные схемы управления работой искровых камер спектрометра. В заключении сформулированы основные новые результаты, полученные в диссертации. Материалы, положенные в основу написания диссертации, опубликованы в работах ^{/2+7/}.

Главы первая и вторая

В первой и второй главах диссертации изложены основные законы газового разряда и дан анализ развития разряда по следу, ионизованному частицей. Там же рассматривается теория ливневой эффективности искровых камер – способность их к одновременной регистрации многих частиц. Эта теория опирается на работу Шнайдера ^{/1/}, в которой дано изложение качественной теории ливневой эффективности. С использованием данной теории был выполнен расчет оптимальной величины межэлектродного зазора искровой камеры для регистрации двух частиц. В расчете учитывались параметры импульса, подвижность электронов и ионов в неоне, начальная плотность ионов в следе частицы, давление газа и коэффициент Таунсенда. Эффективность для одновременной регистрации частиц принималась равной 0,9. Из этого расчета следовало, что оптимальная величина межэлектродного зазора равна 1,57 см. Такая величина, несмотря на приближенность использованной теории, хорошо согласуется со значением оптимальной величины зазора, которая была получена из результатов последующих опытов с искровыми камерами. Для большего числа частиц анализ не проводился из-за больших расчетных трудностей.

Главы третья и четвертая

Технология изготовления искровых модулей и заполнения их рабочим газом ^{/2/}. Спектрометр ^{/3/}, разработке и созданию основной части которого посвящена данная диссертация, представляет собой универсальную установку, предназначенную для проведения широкого класса исследований упругих и неупругих процессов при высоких энергиях. Основными его элементами являются искровые камеры-модули размером 145×135 см². Конструкция этих модулей изображена на рис. 1. Основания электродов сделаны из листового дюралюминия твердой марки толщиной 3 мм, что обеспечивает всей конструкции хорошую жесткость. В основании электродов имеются окна, заклеенные натянутой фольгой толщиной 50 микрон. Диаметр окна составляет 60 см. Боковые стенки выполнены из полосок стекла толщиной 12–14 мм и высотой 2 см. Натяжение и подклеивание фольги к основанию электрода производится на специальном устройстве, конструкция которого показана на рис. 2. Как видно из рисунка, натяжение фольги производится выдвиганием пуансона 16 из матрицы 15. Поджатие электрода к фольге при подклеивании производится с помощью кольца 11. Окончательное склеивание модуля производится на столе с хорошо выровненной поверхностью. Для резки стекла на полоски, из которых изготавливаются боковые рамки модуля, было сконструировано устройство на базе горизонтально-фрезерного станка.

Наполнение модулей рабочим газом производится в вакуумном боксе с дифференциальной системой наполнения газа, позволяющей гарантировать чистоту наполнения и большую экономию газа. Принцип работы системы хорошо виден из рис. 3.

Разрядники ^{/4/}. Питание искровых модулей спектрометра, имеющих большую собственную емкость, потребовало создания достаточно простых и надежных в работе высоковольтных разрядников, характеризующихся большим сроком службы, ма-

лым временем срабатывания и быстрым нарастанием тока.

К настоящему времени в литературе предложено несколько вариантов газонаполненных импульсных разрядников. Однако наиболее употребительными в схемах питания камер стали четыре типа разрядников, отличающихся вариантами поджига разряда в приборе. Чтобы сопоставить основные характеристики указанных разрядников (их конструкция схематично изображена на рис. 4), работающих в одинаковых условиях, было проведено их широкое исследование. Измерены времена нарастания тока в импульсе, задержки включения, и определена предельная частота срабатывания. Сделана также сравнительная оценка "долговечности" каждого типа разрядника. Временные характеристики разрядников показаны на рис. 5. Было установлено, что разрядники с открытой и закрытой системами поджига после 100 тысяч срабатываний имели сильное разрушение в поджигающем электроде, и практически переставали работать после 100-200 тысяч включений. Разрядники игольчатого типа могли срабатывать 400-500 тысяч раз, после чего их запуск становился неустойчивым. В результате этих исследований удалось не только провести четкое сравнение достоинств различных разрядников, но и разработать новый тип разрядника с кольцевой системой поджига, в котором в значительной степени были устранены указанные недостатки. Более чем двухлетний период эксплуатации нового разрядника показал его высокую надежность и стабильность. Более десятка миллионов срабатываний генератора не приводят к какому-либо нарушению режима его работы.

Генераторы. На основе использования разрядника с кольцевой системой поджига был разработан компактный импульсный генератор для питания искровых модулей. Время коммутации тока в этом генераторе составляет 10-15 нсек, а величина коммутирующего тока - 10 ка, при напряжении на аноде 20-30 кв. В качестве рабочих емкостей в генераторе исполь-

зуются плоские керамические конденсаторы типа КВИ на 10 нф и напряжением 30 кв. Все радиотехнические элементы генератора - емкость и сопротивление - монтируются в каркасе из оргстекла и заливаются трансформаторным маслом.

Глава пятая

Система непрерывной очистки газа и контроля его чистоты ^{/5/}. Очистка газа осуществляется по схеме, изображенной на рис. 6 и 7. Система содержит два элемента очистки - ячейку с активированным углем и ячейку с металлическим кальцием.

Для осуществления непрерывного контроля чистоты газа нами был разработан специальный метод, основанный на разрядно-релаксационной ячейке. В основе этого метода использован эффект сильной зависимости потенциала зажигания газа от его состава. Конкретно эффект реализуется в разрядно-релаксационной ячейке, через которую протекает контролируемый газ. Такая ячейка, являясь элементом RC-генератора, позволяет непрерывно измерять чистоту газа путем измерения частоты срабатывания генератора, которая, как известно, зависит от изменения потенциала зажигания газа в ячейке. Принципиальная схема разрядно-релаксационной ячейки показана на рис. 8.

Глава шестая

Ливневая эффективность ^{/6/}. Для успешного применения искровых камер в экспериментах, они должны обладать, с одной стороны, высокой ливневой эффективностью, с другой - иметь малые разрешающие времена. Первому условию хорошо удовлетворяют камеры с большими межэлектродными зазорами ^{/7/}, тогда как второму - камеры с малыми зазорами. Отсюда возникла необходимость в знании оптимальной величины

межэлектродного зазора, при котором в камере сохраняется высокая эффективность для одновременной регистрации нескольких частиц.

Чтобы определить этот параметр, было изготовлено несколько серий однопромежуточных камер (модулей). Камеры первой серии имели межэлектродный зазор, равный 1 см, второй - 1,5 см, третьей - 2 см, четвертой - 2,5 см, пятой - 3 см и шестой - 5 см. Площадь электродов у всех камер была одинакова и составляла $135 \times 145 \text{ см}^2$. Измерение ливневой эффективности проводилось в два этапа. Вначале она изучалась при нулевой задержке импульса и нулевой величине очищающего поля. Электрические импульсы с RC-генератора подавались на камеры с помощью коротких соединительных проводов. Длительность переднего фронта импульсов не превышала 12 нсек, а время спада - $1,5 \cdot 10^{-7}$ сек. Амплитуда импульсов для питания каждой серии камер подбиралась близкой к пробивной. В результате проведенных исследований было установлено, что в камерах с зазором 1 см эффективно ($\approx 0,9$) регистрируются лишь 1-2 частицы. При большем числе частиц ливневая эффективность резко падает. В камерах же с зазором 1,5 см сильное падение эффективности наблюдается лишь при регистрации больше четырех частиц. И только для камер с зазором 2 см ливневая эффективность оставалась высокой ($\sim 0,8$) вплоть до регистрации 8 частиц. Отсюда был сделан вывод, что оптимальная величина зазора искровых камер заключена в интервале от 1,5 до 2 см.

На втором этапе исследований подробно изучалась ливневая эффективность камер, площадь электродов которых равнялась $135 \times 145 \text{ см}^2$, а межэлектродный зазор - 2 см. Эти камеры, как указывалось выше, были приняты в качестве рабочих модулей для спектрометра. На каждую пару камер подавались импульсы, как и при исследованиях на первом этапе, от отдельного генератора. Подача импульсов осуществлялась по кабелям длиной 20 м. Опыты проводились на частицах космического излу-

чения и протонном пучке ускорителя. Причем ливни от космических частиц, которые регистрировались в камерах, порождались обычно не в объеме камер, а в атмосфере воздуха и перекрытий лабораторного помещения. Частицы ливней, доходившие до камер, имели в среднем равномерное распределение по площади электродов камер. В эксперименте с протонами через камеры пропускались частицы, рассеянные на полиэтиленовой мишени. Всякий раз через камеру проходило по две и более частицы. Результаты исследований в обоих случаях хорошо согласовались друг с другом. Результаты измерения ливневой эффективности на частицах космического излучения представлены в виде графиков на рис. 9. На этом рисунке по оси абсцисс отложена величина времени задержки импульсов в мксек, а по оси ординат - эффективность одного промежутка камеры к регистрации соответствующего числа частиц.

Как и следовало ожидать, ливневая эффективность камер монотонно падает по мере возрастания числа одновременно регистрируемых частиц. Однако по абсолютной величине эффективность камер, обладающих зазором в 2 см, остается еще высокой вплоть до регистрации 8 частиц.

Глава седьмая

В седьмой главе приведены электронные схемы, разработанные для управления импульсными генераторами спектрометра, а также схема имитатора, позволяющего осуществлять проверку электронных схем и системы питания камер при разных частотах срабатывания.

На рис. 10 приведена общая блок-схема аппаратуры спектрометра.

Заключение

В заключении диссертации кратко сформулированы основные новые результаты, полученные в работе.

1. Разработана технология изготовления искровых камер большого размера. Камеры имеют хорошую механическую прочность и обладают высокими электроизоляционными, оптическими и вакуумными свойствами. Разработан комплекс вспомогательных устройств для изготовления камер различных размеров (устройство для натяжения и наклейки на электроды фольги большой площади, устройство для точной резки длинных полосок толстого стекла и др.).

2. Проведено подробное исследование работы искровых камер больших размеров при различных параметрах их питания высоковольтными импульсами. Установлена оптимальная величина межэлектродного зазора, при которой сохраняется высокая ливневая эффективность регистрации частиц в камере.

3. Осуществлена экспериментальная проверка справедливости существующих качественных теорий по ливневой эффективности регистрации частиц.

4. Проведено детальное исследование работы импульсных разрядников с различными системами поджига. Показаны пределы их применимости в экспериментальной ядерной физике. Разработан новый тип разрядника на большие токи и напряжения, отличающийся простотой изготовления и эксплуатации, большим сроком службы и исключительной надежностью в работе. Этот разрядник сейчас находит широкое применение в Лаборатории.

5. Разработаны и исследованы сильноточные импульсные генераторы на напряжение до 80 кв. Генераторы отличаются простотой изготовления, большим сроком службы и надежностью в работе.

6. Разработана и исследована высокопроизводительная система очистки инертного газа. Предложен и внедрен новый

разрядно-частотный способ эффективного контроля относительной чистоты газа.

7. Выполнен монтаж и проведено рабочее испытание искрового спектрометра частиц в комплексе со всей аппаратурой.

Л и т е р а т у р а

1. F. Schneider. Preprint CERN AR/Int. GS/63-9, (1963).
2. К.А. Байчер, Ю.Н. Зыкин, В.И. Никаноров, И.Х. Ноздрин, А.Ф. Писарев, В.Ф. Писарев, Н.С. Толстой, В.Н. Филиппов, В.М. Шешунов. Препринт ОИЯИ, P13-4191, Дубна (1968).
3. Р. Анджеяк, Е.М. Андреев, А.П. Бирюков, И.М. Василевский, В.В. Вишняков, Ю.Н. Зыкин, З. Женчикевич, Н.Д. Крахотин, В.И. Никаноров, А.Ф. Писарев, Н.С. Толстой, А.А. Тяпкин, В.М. Шешунов. Препринт ОИЯИ, P13-3588, Дубна (1967).
4. А.Ф. Писарев, В.М. Шешунов. Препринт ОИЯИ, P13-3570, Дубна (1967).
5. А.Ф. Писарев, В.М. Шешунов. Препринт ОИЯИ, P13-4446, Дубна (1969).
6. Б.З. Копелиович, А.Ф. Писарев, А.С. Сарайкин, В.М. Шешунов. Сообщение ОИЯИ, P13-4369, Дубна (1969).
7. И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский, Ю.Р. Лукстиньш, Э.О. Оконов, Г.Г. Тахтамышев, В.И. Устинов, В.М. Шешунов. Препринт ОИЯИ, 1819 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
28 апреля 1969 года.

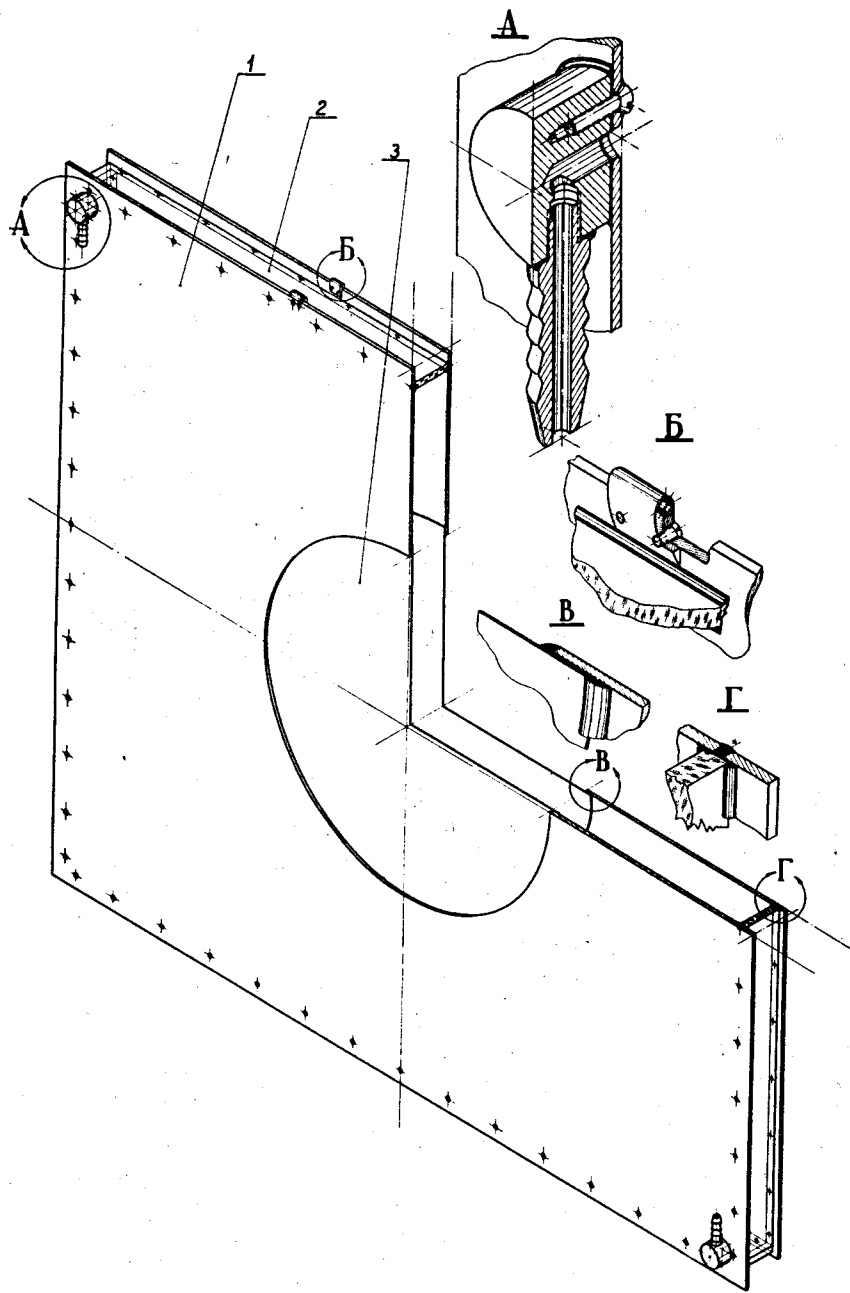


Рис.1. Конструкция модуля. 1 - основание электрода, 2 - боковая стенка, 3 - окно электрода, заклеенное фольгой.

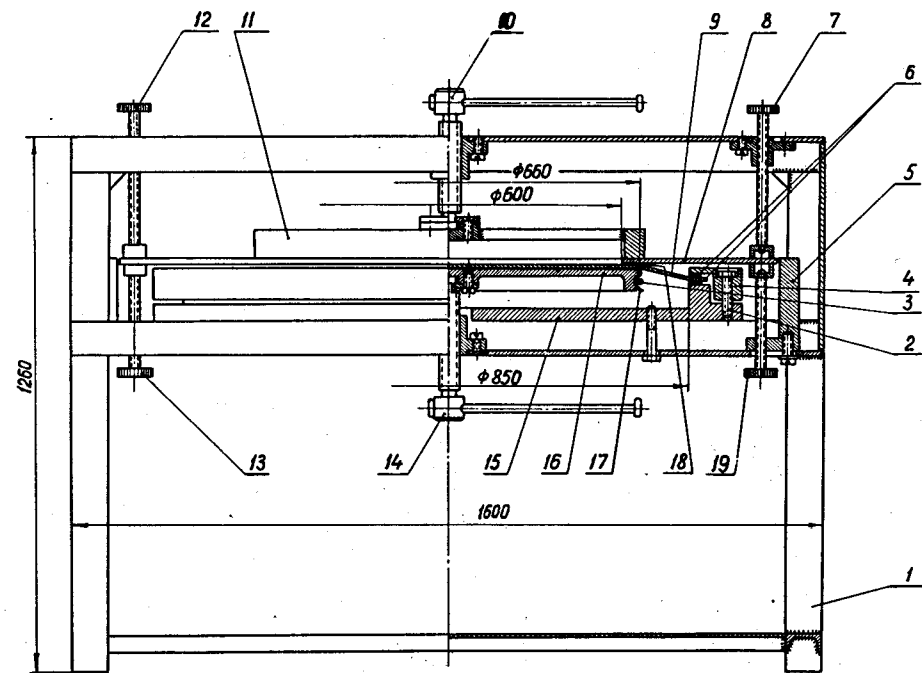


Рис.2. Устройство для натяжения фольги. 1 - станина, 2 - натяжной винт, 3 - резиновый шнур, крепящий прокладку из полиэтиленовой пленки 17; 4 - прижимное кольцо; 5 - контрольные уголки для центрирования электрода 8; 6 - резиновые прокладки для заземления края фольги 9; 7,12,13,19 - регулировочные винты для установки положения и фиксации электрода по центру устройства; 10 - упорный винт; 11 - прижимное кольцо; 14 - винт для поднятия пуансона 16; 15 - матрица; 18 - слой эпоксидной смолы.

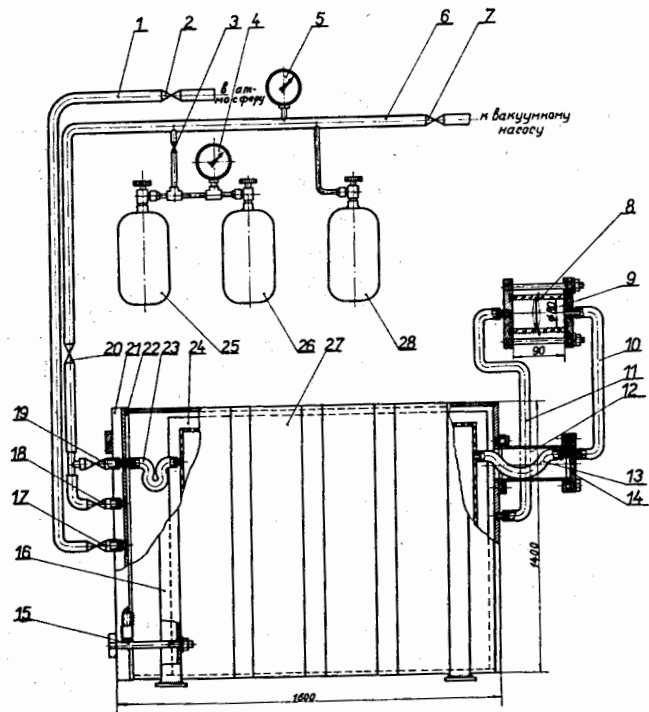


Рис.3. Система откачки и наполнения модуля рабочим газом. 1,6,10,11 - вакуумные трубки; 2,3,7,17,18,20 - вентили; 4,5 - мановакуумметры; 8 - диафрагма дифференциального манометра; 9,13,23 - гибкие шланги; 14 - крышка с оливкой; 15 - шпильки для поджатия дверцы 21 к боксу; 16 - швеллер, обеспечивающий боксу боковую жесткость; 22 - резиновая прокладка для вакуумного уплотнения дверцы; 24 - модуль; 25,26,28 - баллоны с рабочим газом; 27 - бокс, сваренный из листовой стали толщиной 10 мм.

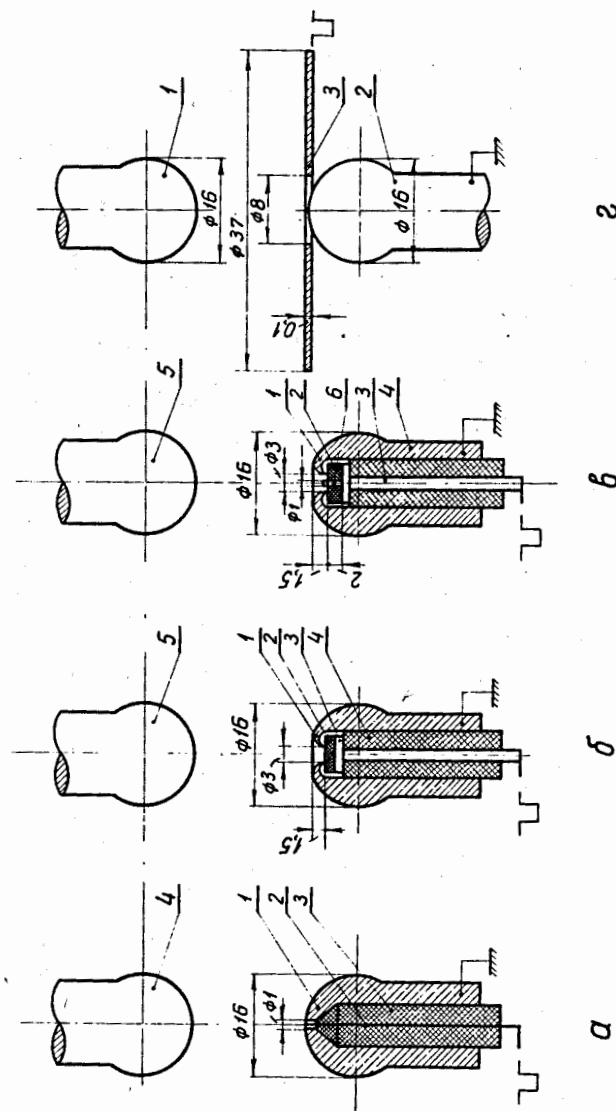


Рис.4. Конструкция различных систем поджига в разрядниках:
а) игольчатого типа; б) закрытого типа; в) открытого типа; г) мембранно-кольцевого типа.

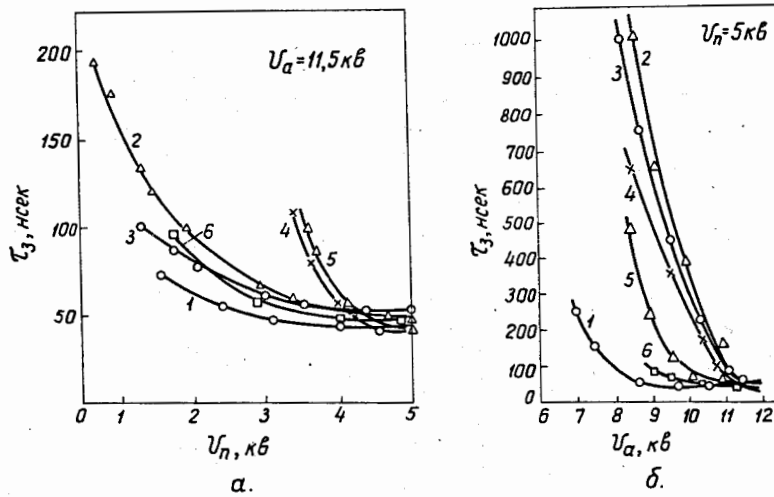


Рис.5. Зависимость времени запаздывания τ_z включения разрядника от напряжения анодного питания и амплитуды поджигающего импульса V_p . а) Зависимость τ_z от V_p . 1 - игольчатая система поджига; 2 - поджиг через титанато-бариевую пластинку; 3 - поджиг через слюдяную пластинку; 4 - поджиг, открытый по поверхности слюды; 5 - поджиг по поверхности стеклянной шайбы; 6 - кольцевая система поджига. б) Зависимость τ_z от V_a . Обозначения на кривых те же, что и на рис. а).

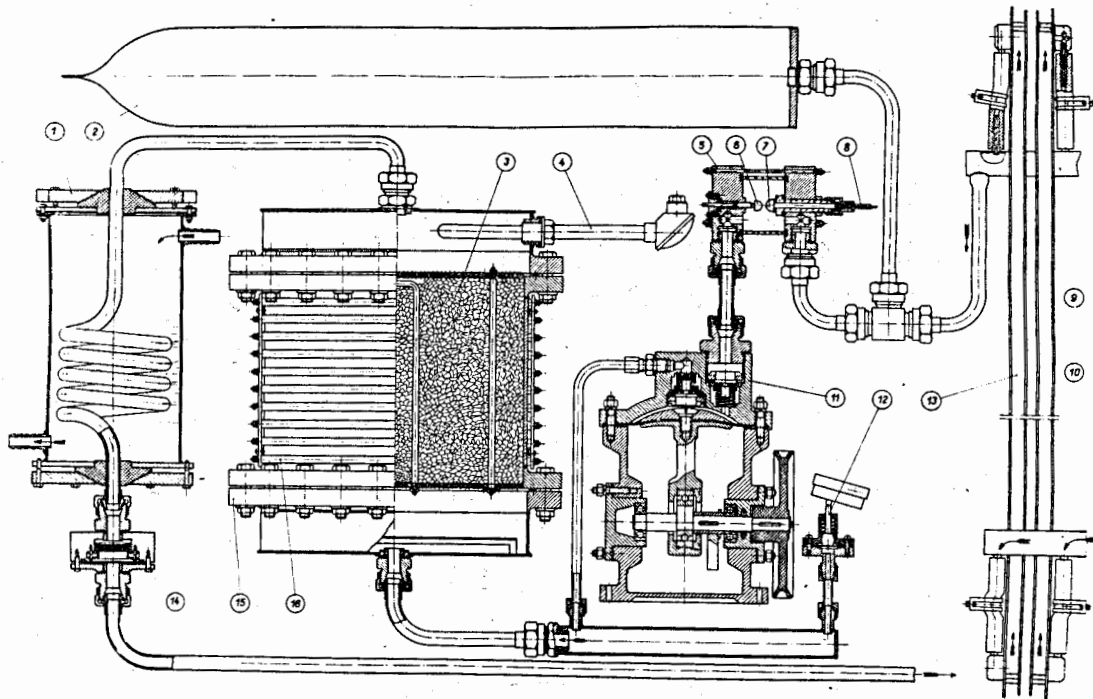


Рис.6. Система очистки газа и его контроля. 1 - крышка уплотнителя; 2 - компенсатор давления; 3 - металлический кальций; 4 - измерительная термопара; 5 - корпус ячейки контроля газа; 6 - заземленный электрод ячейки; 7 - высоковольтный электрод ячейки контроля; 8 - ввод напряжения в ячейку контроля; 9 - газовый коллектор; 10 - модули спектрометра; 11 - компрессор; 12 - регулятор давления газа в компрессоре; 13 - искровой модуль; 14 - фильтр; 15 - крышка ячейки очистки; 16 - элемент нагревателя металлического кальция.

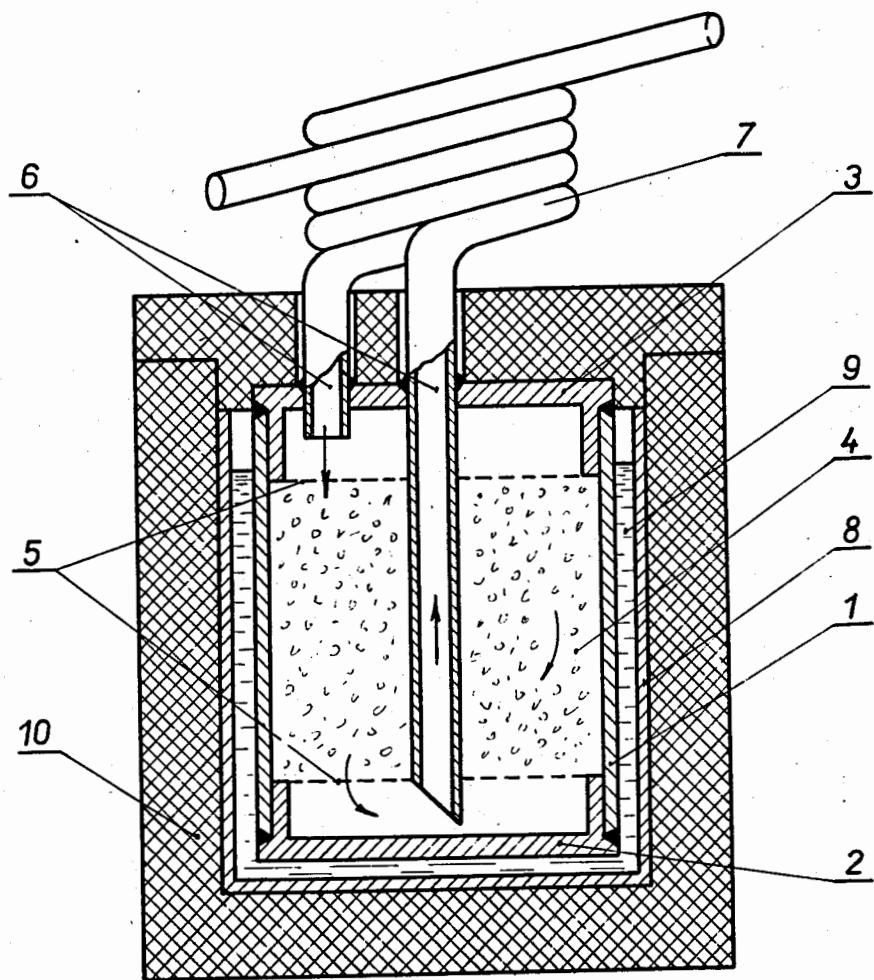


Рис.7. Конструкция ячейки очистки с активированным углем.
 1 - корпус ячейки; 2,3 - крышки; 4 - активированный уголь; 5 - сетки; 6 - газовые магистрали; 7 - радиатор; 8 - сосуд для жидкого азота; 9 - жидкий азот; 10 - теплоизоляционная защита.

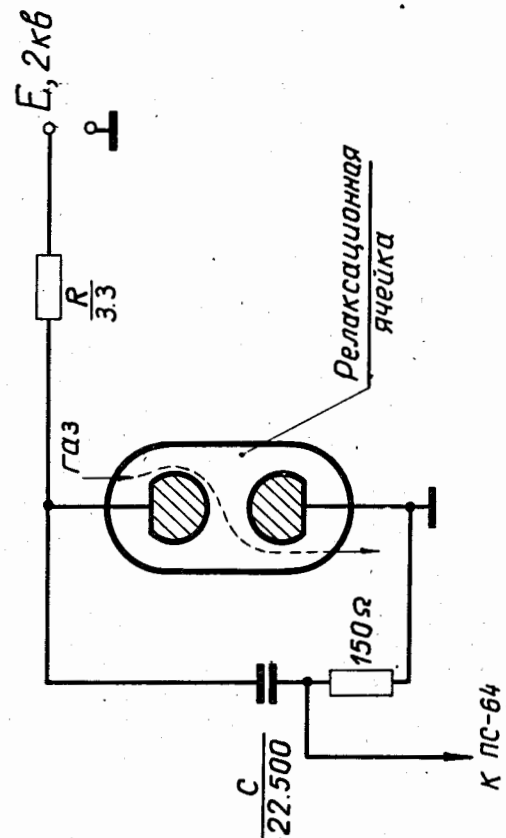


Рис.8. Принципиальная схема ячейки контроля чистоты газа.

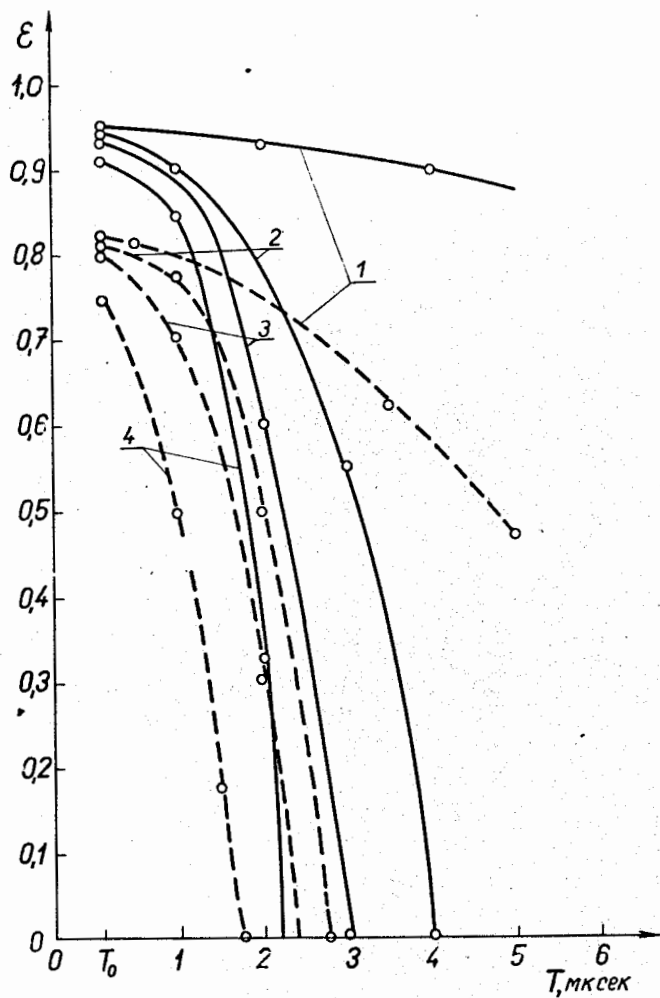


Рис.9. Зависимость эффективности регистрации частиц в камере двух и восьми частиц от величины очищающего поля и времени задержки импульса, где T - время задержки импульса, E - аппаратная задержка, равная $0,6 \cdot 10^{-6}$ сек; 1 - очищающее поле равно нулю; 2,3,4 - очищающее поле равно 20,30 и 50 в, соответственно. Пунктирными кривыми дана эффективность регистрации восьми частиц.

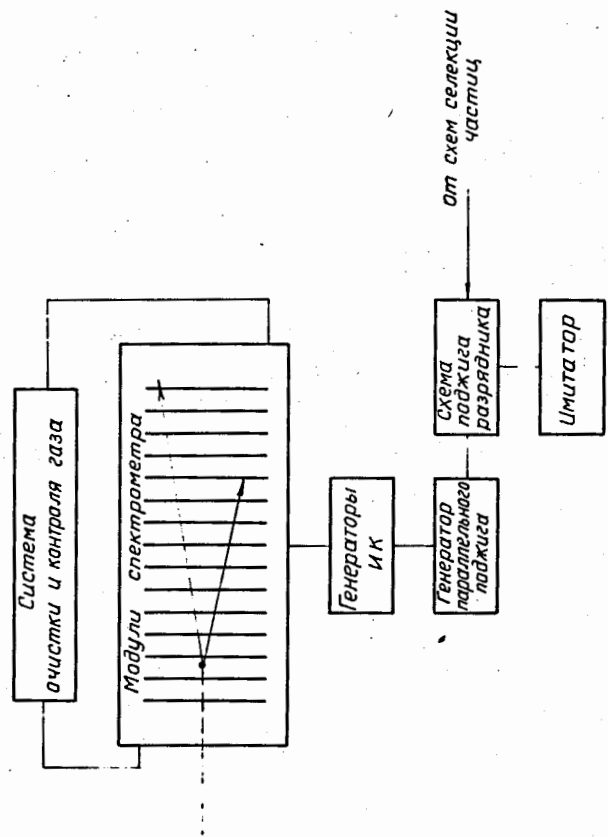


Рис.10. Общая блок-схема аппаратуры спектрометра.