

M-353

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 7794

МАТЮШИН
Валентин Тарасович

ИССЛЕДОВАНИЕ
ИСКРОВЫХ И СТРИМЕРНЫХ КАМЕР
И СОЗДАНИЕ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
ПО ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

доктор физико-математических наук М.Н. Хачатурян,
кандидат физико-математических наук Э.О. Оконов.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук А.А. Кузнецов,
кандидат физико-математических наук А.Ф. Писарев.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Физический институт АН СССР им. П.Н. Лебедева.

Автореферат разослан " 27 " III 1974 г.

Защита диссертации состоится " 29 " IV 1974 г.

в 11 час. на заседании Ученого совета Лаборатории
высоких энергий Объединенного института ядерных иссле-
дований, г. Дубна, Московской области, Лаборатория вы-
соких энергий ОИЯИ, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в
библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физ.-матем. наук

М.Ф. Лихачев

1 - 7794

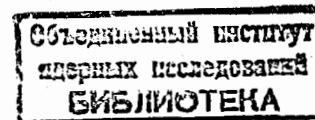
МАТЮШИН
Валентин Тарасович

ИССЛЕДОВАНИЕ
ИСКРОВЫХ И СТРИМЕРНЫХ КАМЕР
И СОЗДАНИЕ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
ПО ФИЗИКЕ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



В настоящее время все больший круг физических задач на ускорителе решается с помощью методики искровых и стримерных камер /1/, развитие которых вызвано насущными требованиями эксперимента.

Исследование искровых и стримерных камер как детекторов частиц показывает, что успехи в этом направлении связаны, с одной стороны, с изучением и использованием возможностей камеры с точки зрения ее физических свойств, с другой - достижениями в области техники формирования высоковольтных наносекундных импульсов, определяющими в значительной степени эффективность регистрации, точность локализации, изотропию свойств камеры как трекового детектора.

Развитие этой методики требует создания и использования в эксперименте сложного и часто уникального комплекса аппаратуры, связанного, в первую очередь, с высоковольтной наносекундной техникой, обеспечением постоянства состава газа в камерах, с применением самых современных материалов и технологии и, наконец, как с автоматизацией обработки камерных снимков, так и разработкой бесфильмовых методов съема информации.

Исследуемые физические процессы, как правило, характеризуются малыми сечениями, их необходимо выделить на фоне большого числа других взаимодействий, сечение которых на несколько порядков больше. Десятки или сотни нужных событий можно получить лишь за несколько недель или месяцев облучения установки. При этом особое значение приобретают характеристики и стабильность работы отдельных систем, в том числе самой камеры, пространственное и временное разрешение треков в которой определяет точность реконструкции события и максимально возможную интенсивность первичного пучка.

Реферлируемая диссертация посвящена исследованию и разработке искровых и стримерных камер, а также их применению в конкретных физических экспериментах.

Изучение и систематизация резонансов является одной из важных проблем физики последних лет. Особый интерес представляют векторные мезоны ρ^0 , ω , φ , так как они занимают в физике адронов положение, аналогичное положению фотона в электродинамике, а поскольку их квантовые числа совпадают с квантовыми числами фотона, возможен их прямой виртуальный переход в фотоны и наоборот. Наиболее прямым следствием виртуального перехода является распад векторного мезона на электрон-позитронную пару. Процессы, относящиеся к данному классу явлений, характеризуются сечениями в сотне и тысячные доли микробарна.

Для решения этой сложной экспериментальной задачи был предложен метод измерения эффективной массы с помощью черенковских γ -спектрометров и искровых камер ^{/2/}. Впервые для решения задач подобного рода были разработаны и успешно применены трековые искровые камеры.

Стримерная камера — новый и сравнительно малоизученный трековый детектор заряженных частиц, развившийся на базе искровой камеры, может служить основой при создании установок для изучения сложных по конфигурации редких процессов. От других электронных приборов регистрации ее отличает возможность наблюдения полной картины взаимодействия практически в 4π -геометрии, причем сама камера может быть использована как большая газовая мишень, являющаяся одновременно трековым детектором частиц. Различные мишени (твердая, газовая или жидководородная), а также γ -конверторы могут быть расположены внутри ее рабочего объема. Важным обстоятельством является и то, что стримерная камера, имея хорошее пространственное и временное разрешение, позволяет измерять ионизацию частиц.

В первой главе рассмотрены физические условия перехода лавины в стример ^{/3/} и развитие стримера, основанное на модели идеально проводящей плазмы ^{/4/}.

Сопоставление с имеющимися и полученными в работе экспериментальными данными показывает, что такой подход позволяет произвести с достаточной для практических целей точностью расчет геометрических размеров критической лавины и стримера, получить оценки концентрации электронов и яркости стримера в зависимости от градиента поля, что очень существенно для разработки камер с предельными характеристиками. На рис. 1 приведены некоторые из рассчитанных кривых, которые с учетом формы реальных высоковольтных импульсов совпадают с экспериментальными данными с точностью 5–10%. Более точное сопоставление приведенных кривых с экспериментом может быть произведено лишь при создании соответствующей частоты газового наполнения, фиксированных давлений и температуре, а также прецизионном измерении параметров импульса на электродах камеры. Следует отметить, что в большинстве работ по искровым и стримерным камерам расчет градиента поля производится весьма приблизительно по зарядному напряжению генератора, а при осциллографировании импульса допускается искажение его формы, что приводит к существенному занижению поля в камере (20–30% и более).

На основе развитой методики расчета может быть вычислена эффективность регистрации частиц вновь создаваемой искровой камерой в зависимости от газового наполнения, величины искрового зазора, параметров высоковольтного импульса, задержки в его подаче на электроды камеры, градиента очищающего поля и других факторов с учетом ионизирующей способности частицы ^{/5/}.

Исследованы методы повышения эффективности регистрации путем последовательного питания искровых зазоров ^{/6/}, создания однородного состава газового наполнения, а также введения проволочных электродов, и особенно двойных ^{/7/}, что существенно снижает корреляцию в срабатывании смежных промежутков.

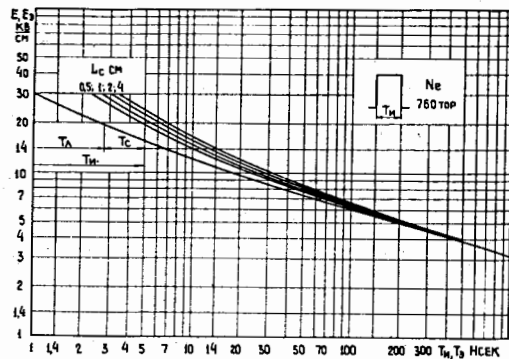


Рис.1. Напряженность поля в камере в зависимости от длительности импульса для получения стримеров определенной средней длины.

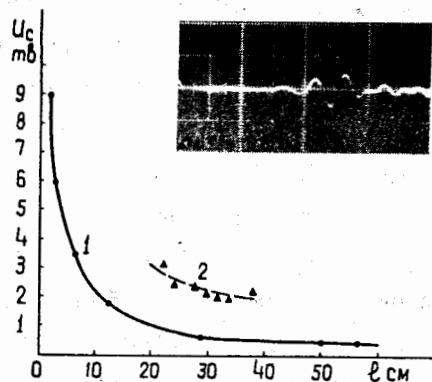


Рис.2. Амплитуда сигнала в зависимости от расстояния датчика до искры, 1 - искрение в воздухе, 2 - трек в искровой камере с зазором 10 см. Осциллограмма сигнала (2 мВ/см, 1 мксек/см) при расстоянии 326 мм до искры.

Внедрение в физический эксперимент камер с проволочными электродами потребовало более тщательного изучения их характеристик и анализа электростатического поля /8/, в результате чего была создана первая трехэлектродная стримерная камера с проволочными электродами внутри рабочего объема /9/, обеспечивающими достаточную для фотографирования прозрачность при отсутствии заметного коронирования проволок в рабочем режиме.

Введение проволочных электродов внутрь объема камеры затрудняет образование фигур Лихтенберга и препятствует накоплению статических зарядов, что особенно важно при повышении быстродействия, а симметричное включение позволяет легко экранировать всю камеру, практически не увеличивая ее электрической емкости. Показано также, что в ряде случаев с точки зрения формирования импульса может оказаться выгодной стримерная камера, состоящая из двух-трех пар одинаковых промежутков /10/.

Во второй главе описаны методы бесфильмового съема информации, предложенные в процессе исследований искровых камер /11-15/, а также рассмотрены некоторые аспекты фотографирования искры и стримера с точки зрения достижения максимальной точности реконструкции треков с учетом реальной глубины камеры, разрешающей способности объектива и пленки, измерительной ошибки и ряда других факторов.

Фотографирование является в настоящее время единственным практическим способом регистрации треков в стримерной камере и, по-видимому, единственным путем автоматизации съема информации для нее может служить телевизионный метод с применением высокочувствительных трубок, электронно-оптических преобразователей или твердотельных мишеней-датчиков видеосигнала.

Способ записи координат треков в искровой камере непосредственно на магнитную ленту был разработан в 1962–63 гг. Магнитная лента, обладая высокой чувствительностью (ток искры удавалось регистрировать даже тогда, когда в полной темноте она была едва заметна в камере) и большим динамическим диапазоном (50 дБ), позволяет получать не только координаты, но и амплитудные значения тока каждой искры, причем отдельные проволоки хорошо разрешаются даже при значительном уменьшении расстояния между ними (шаг ~ 1,5–2 диаметра проволоки). Это дало возможность изучить характеристики первых искровых камер с проволочными электродами, подобрать материал для электродов, в зависимости от высоковольтного питания рекомендовать шаг, диаметр проволоки, полярность питающего импульса для камер, содержащих проволочный и сплошной электроды.

Интересным представляется ультразвуковой способ регистрации координат в искровой камере со сплошными электродами (лист, фольга) /12,13/, где в качестве звукопровода ультразвукового сигнала, возбуждаемого искрой в приэлектродных областях, служат сами электроды, связанные с приемниками ультразвука (рис.2). Этот способ имеет ряд преимуществ: зазор камеры может быть любым, приемник электрически не связан с камерой и легко снимается (камера и система съема, по существу, независимы), скорость распространения сигнала постоянна, на одном электроде может быть установлено несколько приемников для идентификации треков, а камера может иметь любую геометрию, в том числе и сферическую /14,15/. Такая камера позволяет рассчитывать на создание установки с геометрической эффективностью 4% при расположении мишени внутри камеры. Если размеры мишени не слишком велики, то траектории частиц, пересекающих искровой промежуток, почти совпадают с силовой линией электрического поля в камере, что обеспечивает лучшую точность локализации и эффективность регистрации частиц камерой.

Третья глава посвящена описанию искровых камер и аппаратуры, разработанной в основном для установки по исследованию радиационных распадов резонансов.

Высокое энергетическое разрешение черенковских спектрометров и хорошая локализация треков в искровой камере позволили создать установку (рис.3) /16,17/, способную работать в пучке частиц с интенсивностью до 10^5 π^- -мезонов в цикле (при растяжке 250 мсек). В двухчастичных реакциях типа $\pi^+ + p \rightarrow B + x$, где B – барион, а $x \rightarrow \gamma + \gamma$, $e^+ + e^-$, $\pi^0 + \gamma$ и т.д., эффективная масса восстанавливается с помощью простого кинематического соотношения $M^2 = 2 E_1 E_2 (1 - \cos \theta)$, где E_1 и E_2 – энергии продуктов распада, а θ – угол между ними. Электронная логика настраивается таким образом, что регистрация событий установкой происходит только в том случае, если выполняются дополнительные условия: энергии E_1 и E_2 больше заданной (определяемой кинематикой процесса), а их сумма превышает некоторую пороговую энергию.

Трековые искровые камеры с зазором 10 см /18/ с чувствительным объемом $50 \times 50 \times 10$ см³ каждая размещались в съемных каркасах оптических ферм вместе с латунными пластинами (γ – конвертор), причем каркас выполнен так, что и камеры и пластины легко могли быть заменены в процессе проведения экспериментов. Угловое разрешение установки, включая измерительную ошибку и кулоновское рассеяние в γ – конверторе, составило величину $0,5\text{--}0,6^\circ$, угловое разрешение треков в самих камерах – не хуже $0,2^\circ$. Эффективность регистрации была близка к 100%. Однако опыт работы установки показал, что поддерживать такую эффективность в течение длительного времени в камерах, имеющих изолированные друг от друга объемы, трудно, в особенности из-за сравнительно большой задержки в подаче высоковольтного импульса, требуемой для амплитудного анализа импульсов с черенковских масс-спектрометров. Поэтому были проведены дополнитель-

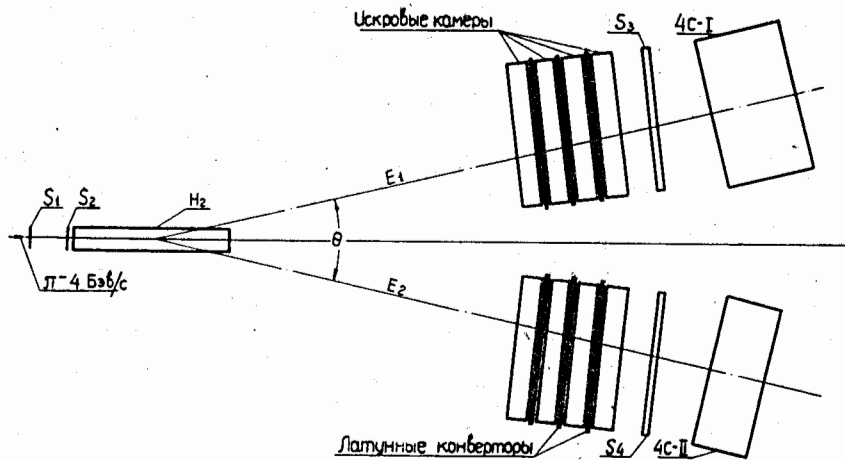


Рис.3. Схема установки для исследования радиационных распадов резонансов.

ные исследования и разработаны новые камеры, каждая из которых представляет собой единый по объему блок, включающий широкий (6 см) и узкие (2 см) зазоры и содержащий двойные проволочные электроды. В местах установки конверторных пластин электроды выполнены в виде кассеты со щелью, а в самих пластинах сделаны вырезы для свободного газообмена смежных искровых промежутков. Такое выполнение обеспечивает однородность состава газоразрядного наполнения и эквидистантность по искровым промежуткам. Функции по существу разделены: большой зазор обеспечивает угловое разрешение ($0,1-0,2^\circ$), а малый, время памяти которого регулируется очищающим полем, - временное (5-6 мксек).

Создание высокой геометрической эффективности установки в целом, которая определяется в основном размерами черенковских спектрометров, требует достижения максимального углового разрешения и высокой ливневой эффективности искровых камер на малой базе (суммарное расстояние искровых зазоров), а повышение точности измерений - рассредоточения вещества χ - конверторов и уменьшения потерь света в оптической системе для реализации предискрового режима работы камер, который обладает лучшими характеристиками.

Разработанные камеры в значительной степени отвечают поставленным требованиям, а анализ потерь света в оптической системе показывает, что они могут быть сокращены по крайней мере на порядок соответствующим выбором схемы фотографирования.

В этой же главе описаны разработанные генераторы для кабельного питания камер с широким (1-15 см) диапазоном значений искрового зазора /19-21/, источники и стабилизаторы высокого напряжения для систем питания искровых камер /22-25/, в том числе двухканальный электронный стабилизатор-потенциометр с выходным напряжением до 100 кВ /26,27/.

Фотографирование искровых камер производилось аппаратами типа РЖ-5, работающими в импульсном режиме. Для их управления была разработана аппаратура /29/, позволяющая осуществлять синхронное фотографирование всех камер установки с частотой до 10 Гц.

Для визуального дистанционного контроля за искровыми камерами использована промышленная телеустановка, передающие камеры которой были помещены в фермах оптических систем.

С помощью созданных камер и аппаратуры на установке по исследованию радиационных распадов резонансов при непосредственном участии автора диссертации был проведен ряд физических экспериментов в пучке π^- -мезонов на синхрофазотроне ОИЯИ, основные результаты которых опубликованы в работах /30,31/, а наблюдение распада $\varphi \rightarrow e^+e^-$ зарегистрировано в качестве открытия /32/.

В четвертой главе описывается двухметровая стримерная камера с зазором 2x30 см, чувствительным объемом 1 м³ установки СКМ-200 /33/.

Для уточнения требований к системам формирования высоковольтного импульса и фотографирования была разработана и исследована модель двухметровой стримерной камеры /34/, содержащая в качестве генератора двойную коаксиальную формирующую линию, заряжаемую через электронный стабилизатор (до 100 кВ), а также стримерную камеру с зазором 2x4 см, расположенную в электродной системе общей длиной три метра. Выходной импеданс генератора был согласован с волновым сопротивлением электродной системы. Измерение параметров импульса осуществлялось с помощью специально разработанной аппаратуры, включающей схему прецизионного контроля стабильности амплитуды импульса /35,36/ с цифровым вольтметром и цифровая печать. Генератор формирует импульсы с фиксированной длительностью 15 нсек, нестабильность амплитуды которых менее 1%. Экспериментально найдено, что изменение амплитуды импульса на 1% приводит к изменению длины стримеров в такой камере с неоновым наполнением на 25 % при их средней дли-

не ~10 мм. Стримеры сравнительно малых геометрических размеров (длина 3-8 мм) регистрировались при фотографировании камеры под небольшими углами к электрическому полю, когда в боковой проекции фиксировалось перекрытие зазора, что связано с характерными формой и распределением яркости в стримере после потери им устойчивого развития.

Приведены и другие результаты экспериментальных исследований модели, а также отмечено, что описанный генератор может служить прототипом при создании быстродействующих систем формирования с малой задержкой в подаче импульса на электроды камеры, что весьма важно для улучшения точности измерения первичной ионизации частиц в камере. Собственная задержка генератора модели не более 25-30 нсек.

На основе развитой в первой главе методики произведен расчет влияния амплитуды и формы униполярного высоковольтного импульса на геометрические и яркостные характеристики стримеров в камере /37/, а для возможности сравнения в различных камерах этих характеристик введен эквивалентный (по действию с реальным) прямоугольный импульс.

Рассмотрены сравнительные характеристики некоторых схем формирования импульса и описан генератор высоковольтных импульсов /38/, разработанный для двухметровой стримерной камеры.

Волновое сопротивление электродной системы камеры, а, следовательно, и формирующей линии достаточно мало, и к разряднику линии предъявляются очень жесткие требования: он должен обеспечить работу линии сравнительно малой длины со значением импеданса 15-20 Ом при максимальной крутизне фронта импульса и минимальных потерях. Кроме того, в схеме с импульсной резонансной зарядкой линии от ГИИ разрядник должен срабатывать в определенный момент времени (при достижении максимума амплитуды зарядного импульса) и

выдерживать большое количество срабатываний (порядка сотен тысяч).

Эти требования удалось выполнить в значительной степени благодаря разработке коаксиального разрядника, один из электродов которого для улучшения стабильности за счет создания эффективной автоэмиссии электронов снабжен кольцевыми выступами. Средний электрод двойной коаксиальной формирующей линии генератора - сменный, что дает возможность регулирования длительности выходного импульса ($t_{и} = 7-13$ нсек). Полученная длительность фронта нарастания выходного импульса 5 нсек, спада 6-7 нсек (по уровням 0,1-0,9) при амплитуде до 700 кВ и нестабильности 1,5-2%.

В первом варианте генератора была применена аperiodическая зарядка формирующей линии с трехэлектродным разрядником, индуктивность подводных цепей которого оказалась значительной, в результате чего длительность выходного импульса (на полувсоте) оказалась равной 30 нсек (при 18 нсек для линии). Кроме того, этой схеме формирования присущи большие потери в амплитуде импульса и повышенное зарядное напряжение на ступени ГИН.

В этой же главе приведены результаты исследований двухметровой камеры с неоновым наполнением /39/, некоторые из них представлены на рис.4. Среднеквадратичное отклонение измеренного трека от прямой около 0,4 мм ($t_{и} = 15,5$ нсек, $T_D \approx 1$ мсек) и улучшается с повышением амплитуды и уменьшением длительности импульса. Точность реконструкции треков в камере возрастает с увеличением формата кадра (работали синхронно четыре аппарата с различными масштабами фотографирования), несмотря на значительную глубину камеры и слабое диафрагмирование объективов, что объясняется увеличением яркости к центру стримера и порогом чувствительности пленки.

Найдено, что при постоянных амплитуде и длительности высоковольтного импульса произведение nd (n - относительное отверстие объектива, d - диаметр стримера) - мало меняющаяся ве-

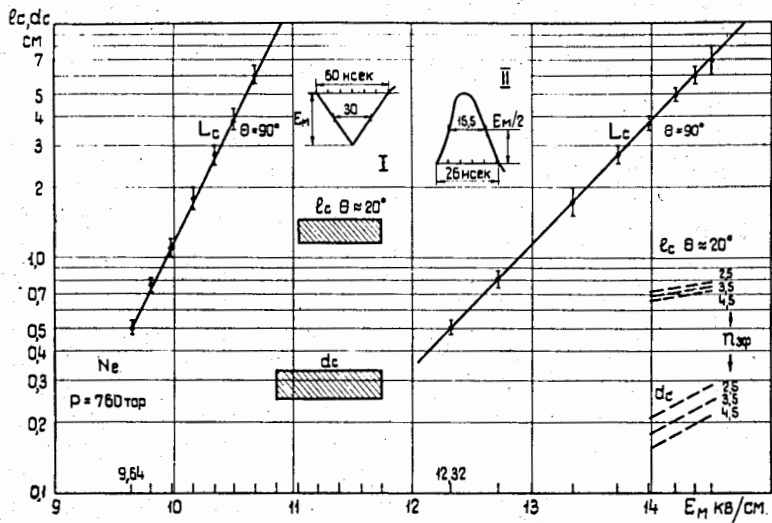


Рис.4. Зависимость длины и диаметра стримеров от градиента поля в камере при двух формах импульса.

личина. Получены другие экспериментальные зависимости, подтверждающие приведенные в диссертации расчетные соотношения в пределах точности измерений. Измерение абсолютного значения амплитуды импульса на электродах камеры осуществлялось с точностью 5-7% с помощью вышеупомянутой аппаратуры.

Кратко описана разработанная система газообеспечения /40,41/, позволяющая поддерживать заданный уровень чистоты газового наполнения камеры. Стримерные следы удовлетворительного качества регистрируются в камере, если уровень содержания воздуха в неоне не более 0,1% объема. Добавление в неон аргона или ксенона на уровне нескольких сотых процента сокращает время формирования стримеров, позволяя снизить амплитуду высоковольтного импульса на 10-15%. При наполнении двухметровой камеры гелием (99% He + 1% Ne) фоторегистрация стримерных следов (4500 ед. ГОСТ, $n = 2,5$) становится возможной, начиная с $E_m = 18,5$ кВ/см ($t_{и} = 12,5$ нсек).

Фотография общего вида установки с двухметровой стримерной камерой приведена на рис.5.

Основные результаты диссертации

1. Предложены и созданы трековые искровые камеры для установки по исследованию радиационных распадов резонансов, с помощью которой были обнаружены распады $\rho^0 \rightarrow e^+e^-$ и $\varphi \rightarrow e^+e^-$, измерены парциальные ширины указанных распадов и определены константы связи между фотоном и ρ^0 -и φ - мезонами.

2. Исследованы первые в ОИЯИ искровые камеры с проволочными электродами, существенно расширяющие возможности искровой камеры как трекового детектора частиц.

3. Предложены и исследованы способы повышения эффективности регистрации частиц многозазорной искровой камерой путем последовательного питания искровых зазоров, создания однородного состава га-

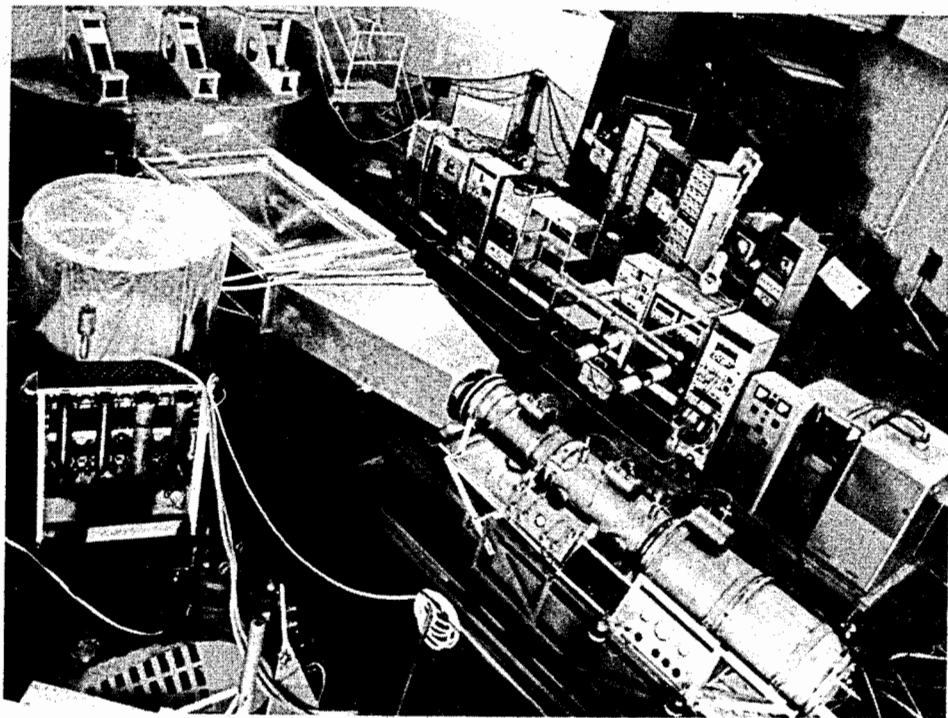


Рис.5. Общий вид установки с двухметровой стримерной камерой
во время монтажа на синхрофазотроне.

зового наполнения смежных промежутков и введения двойных проволочных электродов. Развита методика расчета характеристик камер.

4. Разработаны и исследованы генераторы высоковольтных импульсов для кабельного питания искровых камер с зазором до 15 см, разработана аппаратура запуска камер и фоторегистраторов.

5. Предложены и исследованы способы бесфильмового съема информации с искровых камер непосредственно на магнитную ленту, а также с помощью ультразвуковой локации искры в дополнительном зазоре камеры.

6. Впервые предложен и исследован ультразвуковой, где звукопроводом служат сами электроды камеры, способ, на основе которого предложена сферическая искровая камера с возможностью размещения мишени в центре.

7. Рассмотрены физические условия развития электронной лавины и стримера. Найден критерий перехода лавины в стример, не противоречащий эмпирическому условию Мика - Петера.

8. Создана действующая в зазоре магнита на выведенных из синхротрона пучках релятивистских ядер двухметровая стримерная камера с зазором 2x30 см и чувствительным объемом 1 м^3 , в процессе разработки которой решены следующие основные задачи:

а) предложена и исследована первая трехэлектродная стримерная камера с проволочными электродами внутри рабочего объема на основе проведенного анализа электростатического поля проволочных камер и изучения их характеристик;

б) разработана и исследована модель двухметровой стримерной камеры, экспериментально определены требования к системе формирования импульса и фотографирования;

в) разработан и исследован ряд узлов системы формирования импульса на электродах двухметровой камеры, что позволило сократить

длительность импульса генератора до 10 нсек и повысить амплитуду до 700 кВ;

г) предложена и разработана система газообеспечения камер большого объема, позволяющая поддерживать требуемый уровень чистоты газового наполнения стримерной камеры.

9. Исследованы геометрические и яркостные характеристики стримера в двухметровой камере в зависимости от градиента электрического поля и длительности импульса.

10. Проведен анализ влияния амплитуды и формы высоковольтного униполярного импульса на геометрические и яркостные характеристики стримера в камере. Найдено, что при сокращении длительности импульса в 3-4 раза и соответствующем увеличении амплитуды можно ожидать роста яркости стримера на порядок в рамках стримерного механизма развития разряда.

Основные материалы диссертации докладывались на международных конференциях и симпозиумах и опубликованы в работах /3,5-41/.

Л и т е р а т у р а

1. М.И. Дайон, Б.А. Долгошеин, В.Н. Ефременко, Г.А. Лексин, В.А. Любимов. Искровая камера. Атомиздат, 1967.
2. М.А. Азимов, М.Н. Хачатурян и др. Ав.св. № 182249 (1965), Бюлл. № 11 (1966).
- ✓ 3. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Препринт ОИЯИ, Р13-5504, Дубна (1970).
4. Э.Д. Лозанский, О.Б. Фирсов. ЖЭТФ, 56, 2, 670 (1969).
- ✓ 6. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин, Р. Фирковский. Искровые камеры, ОИЯИ, 13-4527, 305, Дубна (1969).
6. Б.Н. Гуськов, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Препринт ОИЯИ, Р-1937, Дубна (1965); ПТЭ, 1, 80 (1966).
7. Б.Н. Гуськов, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин, Р. Фирковский. ПТЭ, 3, 47 (1967).
8. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Препринт ОИЯИ, Р-2364, Дубна (1965).
9. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. ПТЭ, 5, 75 (1966).
10. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Препринт ОИЯИ, Р-2312, Дубна (1965).
11. П. Амбро, Ю.А. Каржавин, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин, А. Шопев. Препринт ОИЯИ, Р-2368, Дубна (1965); ПТЭ, 1, 66 (1967).
12. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Авт.св. 273006 (1968), Бюлл. № 14, (1971).
13. Ю.А. Каржавин, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Искровые камеры, ОИЯИ, 13-4527, 130, Дубна (1969).
14. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин, Авт.св. 323755 (1969), Бюлл. № 1 (1972).
15. Ю.А. Каржавин, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин, М.Н. Хачатурян. Препринт ОИЯИ, Р13-5016, Дубна (1970); ПТЭ, 5, 6 (1970).
16. М.А. Azimov, A.S. Belousov, I.V. Chuvilo et al., JINR, E13-2971 (1966) Dubna; Nucl. Instr. Meth., 51, 309 (1967).

17. Р.Г. Аствацатуров, А.М. Балдин и др. Препринт ОИЯИ, Р13-6184, Дубна (1971); ПТЭ, 5, 21 (1972).
18. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин и др. ПТЭ, 2, 51 (1968).
19. Н.С. Глаголева, Г. Даминов и др. Препринт ОИЯИ, 13-3219, Дубна (1967).
20. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин и др. Препринт ОИЯИ, 13-3264, Дубна (1967); ПТЭ, 2, 119 (1968).
21. В.Д. Володин, П.С. Кузнецов, и др. Препринт ОИЯИ, 1-6734, Дубна (1972); ПТЭ, 3, 173 (1973).
22. Н.С. Глаголева, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин и др. Препринт ОИЯИ, 13-3207, Дубна (1967); ПТЭ, 2, 148 (1968).
23. Н.С. Глаголева, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин и др. Препринт ОИЯИ, 13-3520, Дубна (1967); ПТЭ, 5, 134 (1968).
24. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Препринт ОИЯИ, 2635, Дубна (1965).
25. Н.С. Глаголева, П.С. Кузнецов и др. Искровые камеры, ОИЯИ, 13-4527, 310, Дубна (1969).
26. В.Д. Володин, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин и др. Искровые камеры, ОИЯИ, 13-5627, 23, Дубна (1969).
27. В.Д. Володин, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Препринт ОИЯИ, 13-4619, 1969; ПТЭ, 3, 277 (1970).
28. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин, В.Я. Рубцов. Автор.свидетельство 259219 (1969). Бюлл. № 2 (1970).
29. В.Д. Володин, Н.С. Глаголева, Препринт ОИЯИ, 13-6560, Дубна (1972); и др. ПТЭ, 3, 66 (1973).
30. М.А. Azimov, A.M. Baldin et al. Препринт ОИЯИ, E1-3148, Дубна (1967); Phys. Lett., 24B, 349 (1967); ЯФ, 6, 515 (1967).
31. R.G. Astvacaturov, M.A. Azimov, A.M. Baldin et al. Препринт ОИЯИ, E1-3770, Дубна (1968); Phys. Lett., 27B, 45 (1968).
32. А.М. Балдин, И.В. Чувило и др. Диплом на открытие, № 94. Вестник АН СССР, 7 (1971).
33. М.Х. Аникина, А.М. Балдин и др. Искровые камеры, ОИЯИ, 13-4527, 11, Дубна (1969).
34. В.Д. Володин, Н.С. Глаголева и др. Препринт ОИЯИ, Р13-5529, Дубна (1970); ПТЭ, 5, 62 (1971).

35. Н.С. Глаголева, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Искровые камеры, ОИЯИ, I3-4527,30, Дубна (1969).
36. Н.С. Глаголева, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Авт.свидетельство 371678 (1972), Бюлл.№ 12 (1973).
37. Н.С. Глаголева, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин, Ю.Р. Лукстиньш. Препринт ОИЯИ, I3-779I, Дубна (1974).
38. Н.С. Глаголева, В.Д. Володин и др. Препринт ОИЯИ, P13-7792, Дубна (1974).
39. G.L.Vardenga, V.D.Volodin, N.S.Glagoleva et al., 1973 Intern. Conf. for High Energy Phys., Frascati, 8-12 May (1973).
40. С.А. Краснов, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. ОИЯИ, BI-I3-3999, Дубна (1968). Искровые камеры, ОИЯИ, I3-4527, I9, Дубна (1969).
41. В.М. Белякин, С.М. Биттибаев и др. ОИЯИ, BI-I3-7793, Дубна (1974).

Рукопись поступила в издательский отдел
14 марта 1974 года.