

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

C 57

УДК 539.1.073

13-89-237

СОДНОМЫН ЭНХБАТ

СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ

**СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ-МИШЕНИ С ЛАЗЕРНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ**

**Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук**

Дубна 1989

СТО. 1. РСБ ЖИ

УДК 62-81

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последнее время особенно актуально стоит задача создания новых трековых детекторов высокого разрешения, которые необходимы для построения вершинных детекторов в физике высоких энергий, в первую очередь для регистрации короткоживущих частиц, связанных с С- и В-кварками, имеющими очень малое время жизни порядка 10^{-12} - 10^{-13} с и соответственно очень малые пробеги, что требует разрешения порядка десятков микрон. Аналогичные приборы необходимы также для постановки задач на новом уровне и в ядерной физике, т.к. они обеспечивают большую точность измерений импульсов и возможность регистрации сложных событий с вылетом большого числа заряженных частиц.

В основе получения одного из таких вершинных детекторов лежит применение лазерной техники, которая дает возможность обойти ограничения, накладываемые на минимальную величину объекта и глубину резкости критерием Рэлея. Лазеры в настоящее время хорошо разработаны и имеется возможность подобрать необходимое устройство, которое дает световую вспышку высокой интенсивности, малой длительности и хорошей монохроматичности. В связи с этим создание установки со стримерной камерой с лазерным освещением, обладающей наряду с простотой в обращении высоким пространственным разрешением, и разработка методики получения хорошо локализованных следов частиц являются важной задачей и представляют самостоятельный научный интерес.

Актуальность этих работ определяется тем, что стримерная камера, сочетая в себе все положительные стороны известных в настоящее время изотропных трековых детекторов, в том числе диффузионной и пузырьковой камер, обладает высоким быстродействием, простотой и управляемостью, позволяет работать с большими потоками частиц и, следовательно, проводить исследование процессов с малыми сечениями, а использование лазера и оригинальной методики, основанной на методе Тепплера поднимает пространственное разрешение камеры почти на порядок по сравнению с обычной стримерной камерой, позволяет получить трехмерную информацию о координате следа частицы на одном кадре.

Состояние вопроса. Американскими физиками (Йельский университет, фермилаб) была разработана обычная стримерная камера высокого

Работа выполнена в Объединенном институте ядерных исследований, Дубна.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук, профессор Щербаков Юрий Александрович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор
Ляпидевский Виктор Константинович (МИФИ, Москва)

доктор физико-математических наук, профессор
Соловьев Михаил Иосифович (АВЭ ОИЯИ, Дубна)

Исходящая организация - Физико-технический институт АН УССР (г. Харьков)

Защита состоится "___" _____ 1989 г.

в ___ час ___ мин. на заседании Специализированного совета А-047.01.03 при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" апреля 1989 г.

Ученый секретарь Специализированного совета А-047.01.03 при ОИЯИ

доктор физ.-мат. наук

(Ю. А. Батусов)

Объединенный институт
ядерных исследований
библиотека

давления малых размеров с очень высоким пространственным разрешением (50 мкм). Однако то, что камера питалась высоковольтным импульсом длительностью всего в 1 нс при длине камеры 5 см и глубине резкости всего в 5 мм, указывает на необходимость применения иного принципа для создания трекового детектора высокого разрешения.

Новый принцип, лежащий в основе предложенных и сделанных в ОИЯИ и ЛИЯФ детекторов, качественно отличается от всех предшествующих. Если использовать пузырьковую камеру с лазерным освещением, позволяющую более-менее тривиальным образом достигнуть высокого разрешения (вплоть до 10 мкм), то пузырьки регистрируются в когерентном пучке света в условиях, где нет ограничений по глубине резкости, на ранней стадии своего развития, когда их размеры очень малы. Принцип же, применяемый в стримерной камере для создания вершинного детектора, более сложный. Необходимо подчеркнуть, что использование стримерной камеры в ряде случаев является более выгодным по сравнению с пузырьковой камерой, т.к. основные тенденции в ядерной физике — это стремление измерять как можно меньшие по величинам поперечные сечения процессов. Через стримерную камеру высокого давления (50-100 атм) можно пропускать потоки до 10^7 заряженных частиц, а через пузырьковую камеру это количество определяется тысячами. Таким образом, производство потока на плотность в стримерной камере оказывается больше, чем в пузырьковой, на два-три порядка.

Принцип, положенный в основу стримерной камеры с лазерным освещением, заключается в следующем: если через стримерную камеру проходит заряженная частица, то она оставляет цепочку электронов, на которых, при подаче высоковольтного импульса, образуются стримеры. Нагретые до высоких температур (10^4 К) электроны в стримерах при термализации передают свою энергию молекулам газа, нагревая их и тем самым локально повышая давление в очень небольшой области газа. Возникает как бы нагретый газовый пузырек, причем процесс происходит очень быстро, как микровзрыв, и это хорошо видно по тому, как от пузырька отделяется ударная волна, хорошо заметная на фотографиях, снятых с различными задержками. Локальный нагрев газа приводит к тому, что заметно меняется коэффициент преломления среды, и при прохождении через нее лазерного излучения имеется возможность зафиксировать появление объекта. Объект оказывается почти на порядок меньше и более контрастным, чем в обычной стримерной камере (в лучших случаях уже достигается поперечный размер 25 мкм). Таким образом, в камере этого типа регистрируется не собственный свет, идущий от стримера, а излучение лазера,

рассеянное на тепловом центре. По этой причине можно назвать эту камеру камерой с управляемыми тепловыми центрами, это означает, что можно вызывать появление этого центра тогда, когда внешняя триггерная электроника сообщает о появлении нужного события. Появляющийся, таким образом, тепловой центр рождается в газе, в отличие от пузырьковой камеры, где треки появляются также на тепловых центрах, образующихся на дельта-электронах, но в отличие от стримерной камеры эти центры неуправляемы, т.к. они существуют всего 10^{-15} с. Первые разработки детекторов на новых принципах были выполнены в ОИЯИ и ЛИЯФ. Первая камера-мишень с He^3 при повышенном давлении была создана в ОИЯИ.

В настоящее время выполнен большой цикл работ по освоению на макетах новой техники вершинных детекторов, так, в ЦЕРН создана камера диаметром 5 см с давлением до 20 атм и с разрешением 25 мкм, в Йельском университете и фермилаб создается камера с давлением до 50 атм.

Следует отметить, что использование лазерной техники позволяет применить не только новые методы фотографирования через голографию, но также создать детектор с предельно высоким разрешением при регистрации импульсов из-за подавления диффузии первичных электронов. Такое предложение было сделано в СССР М.А.Томбаком и реализовано в настоящее время в США.

Цель работы. Цель работы заключалась в некоторых исследованиях стримерной камеры, работающей с лазерным освещением, разработке и создании полномасштабной установки с камерой с управляемыми тепловыми центрами в магнитном поле. Для достижения поставленной цели нами решались следующие задачи:

- проектирование электрической системы установки (питание камеры),
- конструирование камеры (оболочка и внутренняя часть),
- создание и наладка системы лазерного освещения и фотографирования,
- разработка методики получения стереоскопического изображения треков частиц,
- реализация системы эвакуации и наполнения газов в камере,
- размещение и наладка всей установки на пучке (включая магниты мезонного пучка).

Научная новизна. 1. Предложена оригинальная конструкция стримерной камеры с лазерным освещением, позволяющая получать стереоскопическое изображение следов частиц, проходящих через камеру.

2. Разработана конструкция стримерной камеры-мишени, позволяющей работать с H_2 , D_2 , He^3 , He^4 и смесями их с метаном при давлении.
3. Осуществлен комплекс работ по созданию контрольной системы, включающей в себя микроЭВМ КМ-001, для установки.
4. Предложена и реализована реконструкция магнита МС-4А, позволившая получить магнитное поле большего объема и достаточной интенсивности.
5. Разработана система триггера на сцинтилляционных счетчиках, работающая совместно со стримерной камерой внутри объема под давлением и проведена наладка установки.
6. Проведены исследования механизма работы стримерной камеры-мишени высокого давления.
7. Разработана и создана лазерная система для освещения и фотографирования объема стримерной камеры.

Практическая ценность. Проведены разработка и исследование рабочих характеристик вершинного детектора нового типа. Создана установка на основе стримерной камеры с лазерным освещением, которая будет использоваться в экспериментах на фазотроне ЛЯП ОИЯИ для исследования взаимодействия пионов с легкими ядрами. Разработан и реализован принцип построения камер нового типа, который может быть использован для создания вершинных камер-мишеней для экспериментов в области физики сверхвысоких энергий. Подготовлен канал пионов на фазотроне для проведения этих исследований.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертационной работы докладывались на международном симпозиуме "Мезоны и легкие ядра" в ЧССР, на международной конференции по квантовой электронике "ТQE'88" в СРР, на семинарах ЛЯП, а также опубликованы в препринтах и сообщениях ОИЯИ и журналах ПТЭ, "Revue Roumaine de Physique".

По теме диссертации опубликовано 14 работ.

- Автор защищает.
1. Результаты исследования работы стримерной камеры с лазерным освещением в магнитном поле.
 2. Методику получения трехмерной информации о координате следа частиц, с применением сферического зеркала и импульсного лазера.
 3. Экспериментальную установку со стримерной камерой с управляемыми тепловыми центрами, в состав которой входят: реконструированный магнит МС-4А, сама камера, генератор импульсных напряжений, система газового обеспечения, система триггера на сцинтилляционных счетчиках.

4. Разработанные методы и аппаратуру контроля рабочих параметров установки.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и приложения. Она содержит 125 страниц, 50 рисунков, 1 таблицу и список литературы из 80 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность создания трекового детектора нового типа с повышенным пространственным разрешением, стримерной камеры-мишени с лазерным освещением. Сформулированы требования, которым должен удовлетворять создаваемый трековый детектор и основные проблемы, решаемые в диссертационной работе. Проведен обзор прогресса техники стримерных камер.

В первой главе рассмотрены физические задачи, доступные для решения по приведенной методике^{/7/}. Изложено современное состояние проблемы изучения процесса двойной перезарядки пионов на легких ядрах.

Использование трекового детектора с лазерной стримерной камерой повышенного давления в магнитном поле позволит детально исследовать угловые распределения и угловые корреляции заряженных и нейтральных частиц, а также их импульсные спектры. В качестве мишени используется газ, наполняющий камеру, что даст возможность наблюдать взаимодействие с вылетом даже малоэнергичных частиц и регистрировать акты взаимодействия пионов с ядрами водорода, дейтерия, гелия-3, гелия-4 и углерода.

Физическая программа предполагает в качестве одного из первых этапов проведение исследования процесса двойной перезарядки пионов^[6] в реакции: $\pi^+He^4 \rightarrow \pi^-4p$. Эта реакция представляет собой элементарный акт процесса двойной перезарядки на минимальном числе нуклонов и поэтому в первую очередь должна быть тщательно изучена. Все частицы в конечном состоянии здесь являются заряженными, поэтому легко наблюдаемы в стримерной камере. Это обстоятельство позволяет провести полный кинематический анализ. Кроме того, предусматривается возможность поиска дибарионных состояний.

Приведено физическое обоснование метода регистрации следов частиц в стримерной камере с лазерным освещением.

Во второй главе изложены результаты методических исследований^{/1/} работы стримерной камеры с лазерным освещением при наполнении камеры газовыми смесями с различными концентрациями примесей к основному газу. Описывается экспериментальный стенд, созданный для

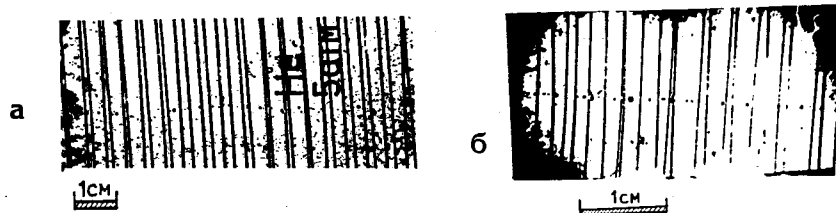


Рис. 1. Тенеграмма трека электрона: а - в гелиевой стримерной камере, б - в водородной стримерной камере.

проведения модельных опытов. Приведены результаты изучения работы стримерной камеры с лазерным освещением, наполненной, при давлении 5 атм, гелием с различными примесями, с электронным источником. Получены тенеграммы треков электрона в гелии и в водороде при малых концентрациях добавок в виде метана и паров воды (рис. 1). Обсуждается полученная плотность числа стримеров на следе частиц (рис. 2). Показано, что регистрация следов заряженных частиц с помощью лазерного излучения в гелиевой и водородной стримерных камерах может успешно выполняться при условии введения в камеру примесей метана и паров воды.

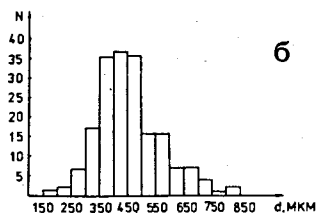
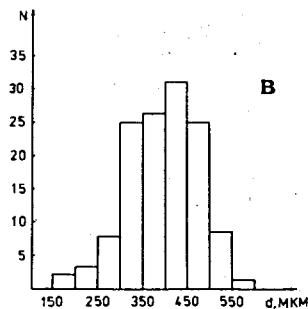
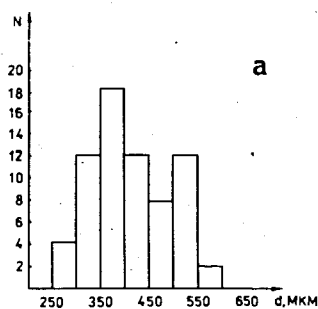


Рис. 2. Распределение числа стримеров на следах электронов в гелиевой стримерной камере по диаметру:
а - примесь метана 0,02%;
б - примесь метана 0,05%;
в - примесь метана 0,09%.

В третьей главе описывается экспериментальная аппаратура, созданной установки^{5, 8, 10/} (рис. 3). Установка состоит из реконструированного магнита МС-4А9^{13/}, в межполюсное пространство которого помещена прочная оболочка из нержавеющей стали, внутренней камеры-мишени, высоковольтного генератора импульсных напряжений, системы освещения и фотографирования^{3/}, триггерной системы счетчиков с электроникой^{11/} и системы газового обеспечения^{12/}.

Описаны конструкция и рабочие характеристики реконструированного, с целью увеличения протяженности поля, магнита. Приведены данные измерений топографии магнитного поля.

Оболочка из нержавеющей стали выдерживает давление 5 атм. В оболочке находится сферическое зеркало с размещенной на нем внутренней камерой-мишенью. Сама камера представляет собой сосуд с майларовыми стенками, закрытый сверху и снизу оптическими стеклами толщиной 15 мм, к которым прикладываются электроды высоковольтного питания.

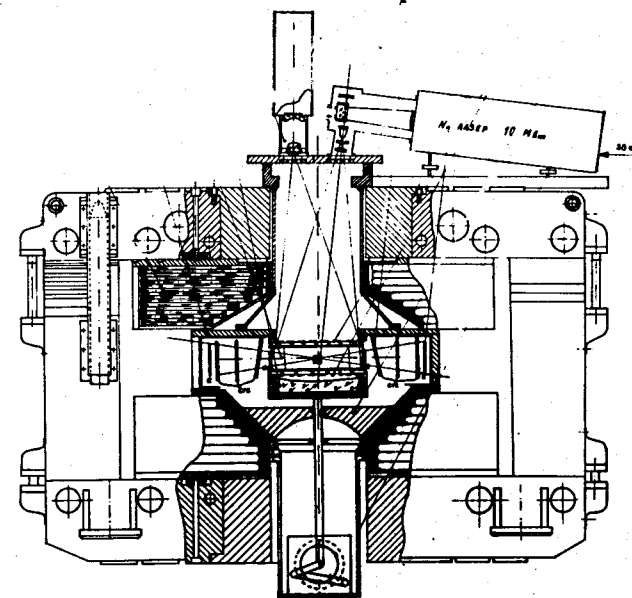


Рис. 3. Схема установки со стримерной камерой с лазерным освещением.

Для получения стереоскопического изображения объема камеры был применен метод с использованием сферического зеркала. Для освещения камеры был разработан ряд конструкций мощных азотных импульсных лазеров^{2, 4, 10/} (длительность импульса 3-5 нс), отличающихся простотой конструкции, надежностью и дешевизной. Преобразование ультрафиолетового излучения лазера в видимую область спектра ($\lambda=580$ нм) проводилось на цилиндрической кювете со спиртовым раствором родамина 6Ж.

Одним из важных элементов установки, имеющей большое число отдельных объемов, заполняемых различными газами, является газовое обеспечение. В данной главе описывается система газообеспечения, разработанная для решения сложной задачи наполнения объемов установки газами.

В четвертой главе описаны система управления^{11/} и система контроля рабочих параметров камеры^{9/}.

Описана система сцинтилляционных счетчиков, размещаемая вокруг камеры, которая предназначена для регистрации как упругих, так и неупругих процессов. Обсуждается возможность использования СГС-камер в качестве зарядочувствительного триггера для регистрации очень редких процессов двойной перезарядки пионов. На рис. 4 показана схема размещения сцинтилляционных счетчиков и СГС-камер вокруг самой камеры-мишени. Приведены расчеты порога регистрации для частиц, вылетающих из камеры, и результаты измерения эффективности системы сцинтилляционных счетчиков для релятивистских частиц по всей длине счетчиков. Они показали, что величина эффективности по длине в среднем оказывается около 99%, а суммарно для двух счетчиков величина эффективности оказывается 98%, ошибка измерений $\pm 0,01\%$.

Описана электроника управления, собранная на стандартных блоках системы ВИШНЯ, разработанных в лаборатории ядерных проблем.

Стабильность работы^{9/} камеры с управляемыми тепловыми центрами в существенной мере определяется стабильностью параметров рабочей смеси, которой наполнена камера. Для контроля этого параметра предусмотрен небольшой блок^{9, 12/} с пропорциональным счетчиком, который позволяет следить за постоянством состава газа во времени. Эта стабильность также зависит от амплитуды и задержки импульса генератора импульсных напряжений, питающего камеру. Задержка в подаче высоковольтного импульса в существенной мере определяет диффузию пузырьков трека относительно траектории проходящей частицы. Чем больше эта задержка и чем больше ее нестабильность, тем больше регистрируемый разброс центров пузырьков. По этой причине проводился тщательный контроль и измерение задержки ГИНа.

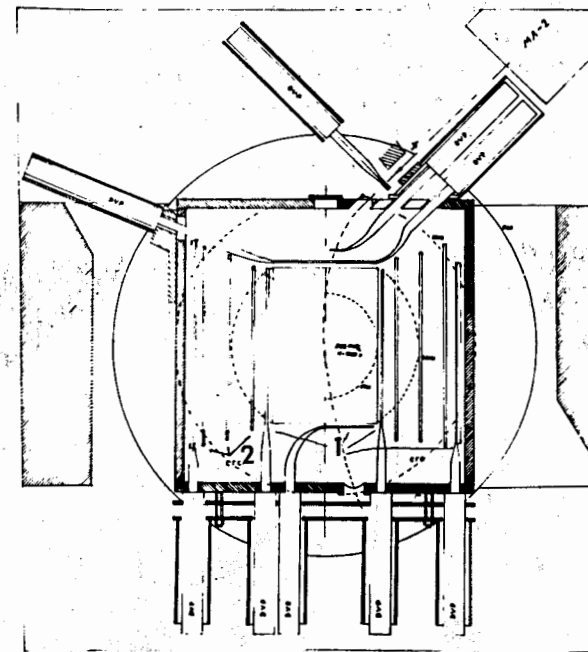


Рис. 6. Схема размещения триггерной системы:
1-сцинтилляционные счетчики;
2- СГС-камеры.

Излучение от импульсного ультрафиолетового азотного лазера^[2] используется для освещения камеры. Именно этот свет претерпевает рассеяние на тепловом центре и это определяет собственно яркость трека. Яркость регистрируемых центров в существенной мере зависит от интенсивности и задержки импульсного излучения, идущего от лазера. Это определяет и видимый размер газового пузырька. По этой причине мы фиксировали не только амплитуду импульса, но также величину задержки, которая находится в диапазоне от 100 нс до 2 мкс. Для контроля этих параметров на выходе лазера установлен фотодиод.

В пятой главе описываются предпринятые исследования^{6, 8, 14/} рабочих характеристик камеры. Для того чтобы убедиться, что избранная оптическая система позволяет получать стереоскопическое изображение объема камеры, были проведены работы по моделированию треков частиц. На рис. 5. представлена фотография камеры с

помещенной на ней стеклянной пластиной с имитацией трека частицы. В медианной плоскости фотографирования была помещена нить диаметром 25 мкм, которая хорошо видна на фотографии. Это показывает, что система имеет удовлетворительное разрешение (видимый диаметр нити около 20 мкм). На фотографии также видны реперные кресты, нанесенные на нижнее и верхнее стекла с внутренней стороны для привязки камеры к оптической системе. Обсуждается методика нанесения реперных крестов.

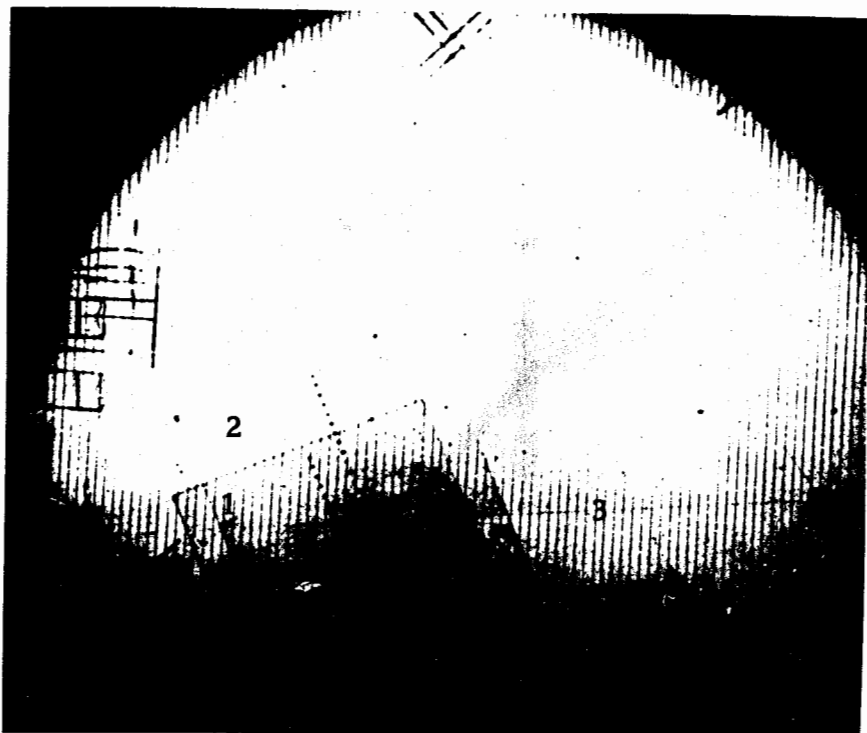
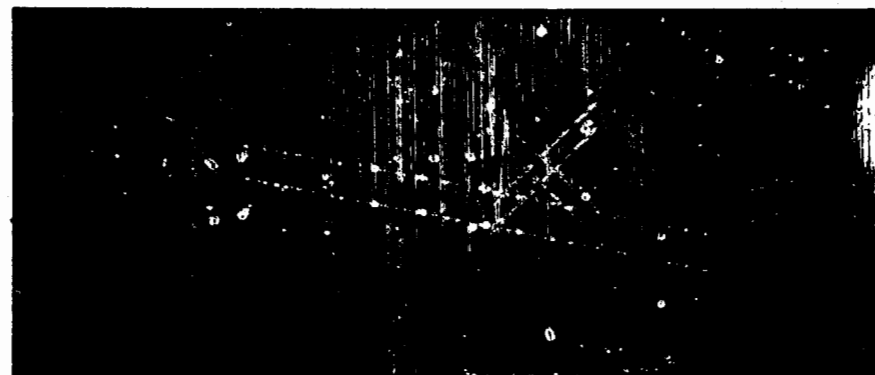


Рис. 5. Фотография модели трека (1-действительное изображение; 2-мнимое изображение; 3-изображение нити).

На рис. 6 показаны изображения следа электрона, полученные от источника Sr^{90} , установленного приблизительно по оси стримерной камеры с управляемыми тепловыми центрами, сделанные как методом светлого поля, так и методом темного поля. Камера работала без



а



б

Рис. 6. Фотографии трека электрона ($He+20\%CH_4$), сделанные: а - методом светлого поля; б - методом темного поля.

магнитного поля. На photographиях хорошо видны как действительное, так и мнимое изображения следа. При фотографировании треков камера наполнялась смесью $He^4+20\%CH_4$ при общем давлении 1 атм. Фотографирование производилось на пленку Микрат-300. Как видно на этой малочувствительной пленке (10 ед. ГОСТ), след ярок и контрастен, размер изображения стримеров колеблется от 12 до 250 мкм и мнимое изображение видно достаточно ярко.

Описывается работа стримерной камеры при различных задержках как импульса ГИН, так и импульса лазера относительно импульса ГИН.

Полученные результаты показывают, что описанный метод может быть с успехом использован в стримерных камерах, при уменьшении задержки импульса ГИН, с достижением разрешения, близкого к разрешению пузырьковых камер. Это позволяет надеяться на получение больших точностей при измерении импульсов частиц.

В шестой главе описано размещение установки на пионном пучке фазотрона ЛЯП и приведены результаты работы камеры на пучке.

Для выведения пучка была использована мишень мезонного тракта, помещавшаяся на направлении протонного пучка в зале фазотрона. Для формирования пионного пучка мы использовали часть элементов мюонного тракта. Поворот пучка пионов производится двумя магнитами МЛ-31 и линзой МЛ-29, затем пучок сжимался тремя линзами, установленными перед стеной так, чтобы точка фокуса приходилась на центр стены. Дублет линз стенового блока принимал изображение пионного пучка и переносил его в точку фокуса линзы МЛ-9 (—0,5 м от центра линзы), за которой размещаются поворотные магниты. За ними стоит линза, задний фокус которой размещался примерно по центру камеры. На рис. 7 показана схема вывода пучка и размещения камеры на пучке.

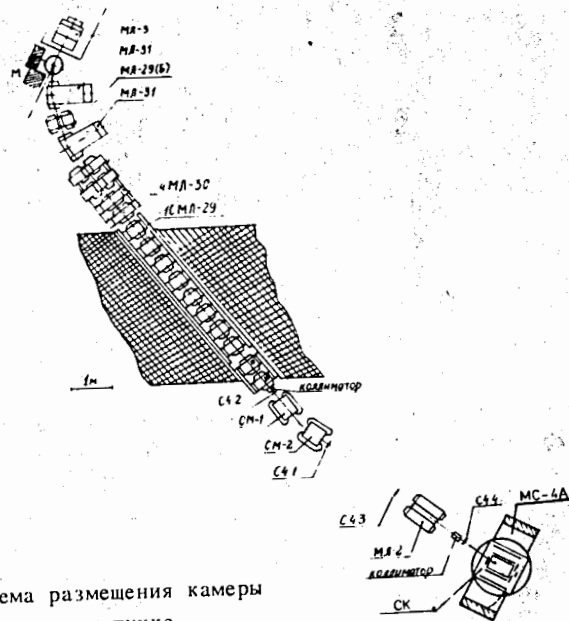


Рис. 7. Схема размещения камеры на пионном пучке.

С пионным пучком, проходящим через камеру, мы проводили фотографирование треков пионов в смеси гелия с метаном. На рис. 8 показана фотография, на которой хорошо видно искривленный след пиона, пересекающий камеру от входной до выходной стенок камеры. На фотографии также хорошо видно мнимое изображение следа, которое будет использоваться для измерения Z-координаты следа. Как видно из фотографии, при наличии магнитного поля в камере структура изображения стримеров не меняется, они имеют диаметр около 0,5–0,6 мм (из-за собственного разрешения объектива) и представляют собой контрастные точки. Среднее число стримеров в смеси $He+20\%CH_4$ при давлении 1 атм, составляет около 5 см^{-1} для частицы с минимальной релятивистской ионизацией. Таким образом, мы видим, что камера работает удовлетворительно в одном из режимов, который будет использоваться при дальнейшей эксплуатации установки.

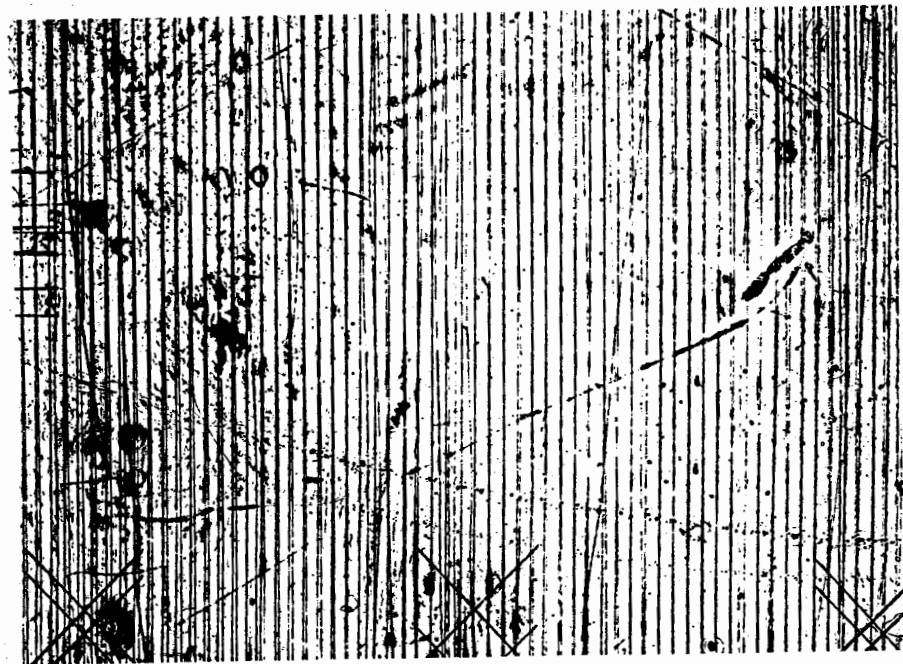


Рис. 8. Фотография трека пиона в магнитном поле.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Рассмотрены возможные задачи по взаимодействию пионов с легкими ядрами для постановки экспериментов с созданной установкой на фазотроне ЛЯП. Намечен круг вопросов по исследованию взаимодействия пионов с ядрами H_2 , D_2 , He^3 , He^4 и C^{12} и сформулированы условия, которым должна удовлетворять установка по исследованию неупругих процессов на этих ядрах (поглощение, двойная перезарядка).
2. Впервые создана установка с камерой с управляемыми тепловыми центрами. Проведен комплекс работ по разработке и наладке всей установки в целом, включая саму стримерную камеру, систему лазерного освещения, систему эвакуации и наполнения, электронику управления, счетчики и пучковую часть.
3. Рассмотрен вопрос вывода пучка пионов с мионой мишени ЛЯП. Реализована необходимая магнитная система, изучены ее параметры при импульсе пионов 260 МэВ/с, установка размещена на этом пучке, и исследованы некоторые параметры пучка положительных пионов. Осуществлен ввод пучка в камеру.
4. Проведены работы по разработке и испытанию реконструированного магнита. Получены его удовлетворительные параметры для работы в установке со средним магнитным полем 7 кэ и большой протяженностью, что позволило создать компактную систему. Исследованы магнитные характеристики магнита, включая измерение топографии магнитного поля.
5. Изучена и реализована возможность использования метода лазерного освещения стримерной камеры большого объема и доказана возможность получения трехмерной информации о координате следа частиц на одной фотографии. Получены фотографии электронов при исследовании различных режимов работы с различными задержками ГИН и лазера.
6. Разработаны специальные мощные азотные лазерные системы с поперечной накачкой мощностью ~2 МВт. Разработана система трансформации света на кюветах с родамином 6Ж с поперечной накачкой.
7. В камеру введен пучок пионов по оси установки и получены удовлетворительные фотографии трека частиц в смеси гелия с метаном. Показано, что параметры следа имеют удовлетворительные

характеристики, в 5-10 раз улучшая результаты, полученные с обычной стримерной камеры.

8. Разработана и создана система сцинтилляционных счетчиков триггера камеры. Исследованы рабочие характеристики счетчиков.
9. Решены многие технические вопросы, такие как разработка и создание системы эвакуации и наполнения газов в камере (для водорода, гелия и метана), подготовка реперных крестов в виде фазово-контрастных объектов и т.д.

Основные результаты диссертации изложены в следующих публикациях:

1. А. Будзьяк, Н. П. Боброва, Д. Бенце, М. Кашукеева, В. И. Ляшенко, Д. Б. Понтекорво, А. Г. Потехин, Э. Содномын, Д. Спорез, И. В. Фаломкин, Ю. А. Щербаков.

"Лазерные стримерные камеры-мишени высокого давления с малыми регулирующими добавками к наполняемому газу".
Сообщение ОИЯИ, P13-83-183, Дубна, 1983.

2. Бан Хе Сок, В. И. Ляшенко, Нгуен Динь Лок, Э. Содномын, Т. Тудор, Ю. А. Щербаков.

"Азотный лазер для освещения стримерной камеры".
Сообщение ОИЯИ, P15-86-146, Дубна, 1986.

3. Э. Содномын, Бан Хе Сок, В. Йирка, Н. К. Илиева-Соколинова, Б. Е. Корнеев, В. И. Ляшенко, М. Малы, Т. Тудор, Ю. А. Щербаков, Чань Ань Ву.

"Оптическая система стримерной камеры с лазерным освещением".
Сообщение ОИЯИ, 13-87-312, Дубна, 1987.

4. Бан Хе Сок, В. И. Ляшенко, Э. Содномын, Т. Тудор, Чань Ань Ву, Ю. А. Щербаков

"повышение эффективности работы азотного лазера".
Препринт ОИЯИ, 13-87-415, Дубна, 1987.

5. Константинов К. Р., Корнеев Б. Е., Ляшенко В. И., Малы М., Содномын Э., Травкин В. И., Тудор Т., Фаломкин И. В., Чань Ань Ву, Щербаков Ю. А.

"Стримерная камера-мишень для исследования взаимодействия пионов с легкими ядрами".
Препринт ОИЯИ, 13-88-577, Дубна, 1988.

6. Sodnomyn E. et al. "High Pressure Streamer Chamber-Target For Investigation Of Pion Reactions With Light Nuclei".

- Proc. of the IV International Symposium "Mesons and Light Nuclei", Bechyně, Czechoslovakia, 1988.
7. Shcherbakov Yu.A., Sodnomyn E., Tudor T.
"Lasers In Nuclear Particle Detection".
Proc. of the III International Conference "Trends In Quantum Electronics", Bucharest, Romania, 1988.
 8. Yu.A.Shcherbakov, B.E.Korneev, V.I.Lyashenko, Pang Hye Sok, E.Sodnomyn, Tran Anh Vu, I.Iova, T.Tudor.
"Some results obtained at the laser illuminated streamer chamber by bright-field and dark-field method".
Proc of the III International Conference "Trends In Quantum Electronics", Bucharest, Romania, 1988.
 9. Ивановский С.А., Константинов К.Р., Ляшенко В.И., Содномын Э., Тудор Т., Чань Ань Ву, Щербаков Ю.А.
"О стабильности рабочих параметров камеры с управляемыми тепловыми центрами".
Сообщение ОИЯИ, P13-88-757, Дубна, 1988.
 10. Бан Хе Сок, В.И.Ляшенко, Э.Содномын, Т.Тудор, Чань Ань Ву, Ю.А.Щербаков.
"Повышение эффективности работы азотного лазера".
ПТЭ, No.5, с.155, 1988.
 11. Содномын Э., Константинов К.Р., Ляшенко В.И., Травкин В.И., Фаломкин И.В., Щербаков Ю.А.
"Триггер для стримерной камеры с управляемыми тепловыми центрами".
Сообщение ОИЯИ, P10-88-817, Дубна, 1988.
 12. Содномын Э., Константинов К.Р., Ляшенко В.И., Фаломкин И.В., Чань Ань Ву, Щербаков Ю.А.
"Газовое обеспечение установки "Детектор".
Сообщение ОИЯИ, 13-88-818, Дубна, 1988.
 13. Содномын Э., Ляшенко В.И., Никаноров В.И., Фаломкин И.В., Щербаков Ю.А., Василенко А.Т., Корнеев Б.Е., Обухов Ю.Л.
"Реконструированный компактный магнит для стримерной камеры".
Сообщение ОИЯИ, 13-88-819, Дубна, 1988.
 14. Yu.A.Shcherbakov, I.Iova, V.Irka, B.E.Korneev, V.I.Lyashenko, M.Maly, Pang Hye Sok, E.Sodnomyn, T.Tudor, Tran Anh Vu.
"A Laser Illuminated Streamer Chamber With Spherical Mirror".
Rev.Roum.Phys., t.33, n 4-6, p.919-924, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 апреля 1989 года.