

927034

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

С 344.1  
К-906

13 - 4736

М.М.Кулюкин

ГЕЛИЕВАЯ СТРИМЕРНАЯ КАМЕРА  
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ В ГАЗЕ

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1969

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

Ю.А. Шербаков

Официальные оппоненты

доктор физико-математических наук, профессор

М.С. Козодаев

кандидат физико-математических наук, доцент

Б.А. Долгошеин

Ведущее предприятие:

Физический институт им. П.Н. Лебедева АН СССР

Автореферат разослан " " 1969 г.

Защита диссертации состоится " " 1969 г.

на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

кандидат физико-математических наук

О.А. Займидорога

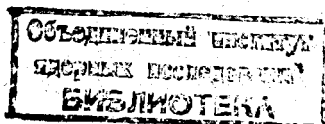
13 - 4736

М.М.Кулюкин

ГЕЛИЕВАЯ СТРИМЕРНАЯ КАМЕРА  
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ В ГАЗЕ

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук



Детекторы заряженных частиц, в которых имеется возможность проследить путь частицы и все изменения, происшедшие с ней на этом пути, давно занимают видное место в методах экспериментальной физики. Поэтому большой интерес привлек к себе новый газоразрядный трековый детектор — стримерная камера, предложенный советскими физиками <sup>/1,2/</sup>. Стримерная камера дает не только новую возможность наблюдения трека заряженной частицы, но и открывает новые области применения трекового прибора, являясь управляемым и быстродействующим детектором. Однако, в связи с малой яркостью трека, применение неона для заполнения камер является необходимым условием получения достаточной для прямого фотографирования яркости следов в камере. Другие одноатомные газы и их смеси дают существенно меньшую яркость, и для уверенной регистрации следов в них требуется применение усилителей света <sup>/3/</sup>. Вместе с тем, возможность наблюдения треков в различных газах и, в частности, в гелии, открывает перспективы применения камеры для определенного класса физических исследований в качестве газовой мишени.

Наибольший интерес из благородных газов представляет гелий. События, наблюдаемые на гелии, могут быть легко интерпретированы в силу простого строения его ядра. Это же обстоятельство позволяет сделать теоретическую оценку ряда характеристик взаимодействия частиц с ядрами гелия. Интерес к наблюдению взаимодействий в гелии повышается благодаря

наличию в распоряжении экспериментаторов уникального изотопа гелия-3, являющегося симметричным изотопу водорода - тритию.

С целью получения хорошо локализованных следов и возможности их регистрации прямым фотографированием был предпринят цикл работ, направленных на экспериментальное изучение некоторых характеристик электрического разряда в гелии. Эти работы /4-9/ легли в основу реферируемой диссертации.

Во введении дан краткий обзор методики трековых приборов, их места в физическом эксперименте и анализ недостатков того или иного метода. Рассмотрены различные типы газоразрядных камер, включая стримерные, и обсуждаются их экспериментальные возможности.

Диссертация состоит из трех глав.

В I главе обсуждается выбор способа воздействия на газовый разряд с целью получения хорошо локализованных следов заряженных частиц в гелии, обладающих достаточно большой яркостью. В этой же главе описывается экспериментальная техника и обсуждаются специфические требования к отдельным узлам аппаратуры.

Глава II содержит описание стримерной камеры, предназначенной для детектирования останавливающихся в камере мюонов, работы этой камеры в пучке мюонов синхроциклотрона ОИЯИ и результаты некоторых измерений фотографий остановившихся мюонов и электронов с целью выяснения пригодности выбранного режима работы камеры для использования в физических экспериментах.

В III главе приведены эксперименты по регистрации треков заряженных частиц в гелиевой стримерной камере при наличии значительной концентрации примеси другого газа (до 20%) и при повышенном (до 6 атм.) давлении газа в камере.

Выбор направления поиска требуемого эффекта определен следующими соображениями. Как известно, яркость стримера растет с увеличением его длины при неизменном значении на-

раженности электрического поля. При этом неопределенность в положении трека частицы растет непропорционально длине стримера. Еще в первых публикациях, касающихся искровых камер с большим зазором /1/, работающих в проекционном режиме, было замечено, что путь частицы через камеру можно проследить по характерным особенностям, возникающим при определенных условиях на электрических разрядах, пересекающих искровой промежуток. Поскольку в таком режиме светимость стримера достигает максимально возможной для данного электрического поля величины, то этот эффект можно положить в основу способа регистрации треков частиц в слабосветящихся газах.

В §2 первой главы приводится описание используемых в экспериментах по газовому разряду камер, системы их откачки и наполнения, высоковольтных генераторов и системы управления и фотографирования. Эксперименты проводились со стеклянными камерами  $\phi$  300 мм и высотой 100 мм. При работе с разрядами, развивающимися на весь искровой промежуток, камера, изготовленная из диэлектрика (силикатное или органическое стекло) должна иметь проводящее покрытие, обеспечивающее стекание зарядов с диэлектриков за время между срабатываниями. Приведена оценка допустимых границ значений удельного поверхностного сопротивления проводящего покрытия. Удовлетворяющие требованиям проводящие покрытия получают с помощью этилового эфира ортотитановой кислоты или с помощью специального антистатика "алкамона", также выпускаемого химической промышленностью.

Перед заполнением камера откачивается до давления порядка  $10^{-2}$  тор и однократно промывается гелием с последующей откачкой до  $10^{-2}$  тор. Такая процедура дает достаточно стабильные характеристики работы камер для одинаковых составов наполняющего камеры газа. Для наполнения камер использовался промышленный гелий марки "Гелий высокой чистоты".

Для питания камер используются высоковольтные импульсные генераторы типа Аркальева-Маркса. Методика расчета таких элементов генератора, как число каскадов, емкость отдельной секции, величины межкаскадных и зарядного сопротивлений, а также схемы коммутации генератора, направлена на обеспечение устойчивой работы последнего и получение заданной амплитуды импульса на емкостной нагрузке. Для экспериментов с камерами были изготовлены две конструкции генераторов. Генератор импульсного напряжения (ГИН) — "коаксиального" типа, предназначенный для питания камер с зазором до 10 см /5/. Он имеет 13 конденсаторных секций по 2 соединенных параллельно керамических конденсатора КОБ-2. Общая емкость — 5000 пф. Для уменьшения собственной индуктивности ГИНа конденсаторные секции и разрядники расположены в одну линию и имеют общую ось симметрии. Вместе с защитным кожухом они представляют собой коаксиальную линию. Генератор заряжается от промышленного выпрямителя типа ВС 20-10 и при зарядном напряжении 25 кВ позволяет получить на нагрузке 50 пф импульс амплитудой 250 кВ. Генератор рассчитан на максимальную частоту срабатывания  $10 \text{ сек}^{-1}$ . Общая задержка появления высоковольтного импульса, включая задержку в тиратронном генераторе поджига ГИНа, составляет  $0,8 \pm 0,2 \text{ мксек}$ .

Вторая конструкция генератора с регулируемыми разрядными промежутками была разработана и изготовлена для исследования работы камер в большом диапазоне напряженности электрического поля. Генератор имеет 20 секций. Емкость секции составляет 6600 пф (3 конденсатора К15-4). ГИН имеет герметичный кожух и может работать в атмосфере азота при давлении до 8 атм. Генератор устойчиво работает в диапазоне зарядных напряжений 2-20 кВ. При давлении азота в кожухе в пределах 2-4 атм. и точной подстройке искровых промежутков минимальная задержка импульса может быть доведена до 0,3 мксек.

Измерение высоковольтных импульсов производится с помощью осциллографа и высоковольтного делителя на электрических сопротивлениях.

Поскольку изучались характеристики электрического разряда, развивающегося от электрона следа заряженной частицы, запуск ГИН и системы фотографирования разряда осуществлялся от космических частиц или электронов препарата  $^{90} \text{Sr}$ , прошедших через камеру.

В §3 показаны пути получения в стримерной камере, наполненной гелием, хорошей локализации следов заряженных частиц /7/.

При развитии разряда в объеме газа, отделенном от электродов слоем диэлектрика, не происходит перехода к заключительной стадии искрового пробоя промежутка — дуговому разряду. Развившийся в газе стример заканчивается поверхностным разрядом по диэлектрику. Ток зарядки емкости диэлектрика течет по ионизированному каналу стримера, что приводит к увеличению количества испускаемого стримером света. Таким образом, если на такой искровой промежуток подать электрический импульс, длительность которого превышает время, необходимое для развития разряда на всю длину промежутка, то конфигурация разряда не будет изменяться в зависимости от длительности импульса и определяется только свойствами газа.

Вследствие кистеобразного, ветвящегося характера разряда, распространяющегося от места возникновения первичной лавины, в этом месте в разряде выделяется ярко светящийся участок длиной 10 мм, яркость которого убывает в направлении развития стримеров (рис. 1а). Эти участки выделяют трек частицы, прошедший через камеру. Таким образом в гелии, при развитии разряда на весь промежуток, имеется возможность проследить направление частицы и легко получить трек высокой яркости свечения (при напряженности поля в камере 20 кВ/см яркость позволяет применять диафрагму 8 или 11 при фотографировании на пленку чувствительностью  $S_{0,85} =$



а



б

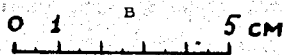


Рис.1. Вид разряда в гелии а) без контролируемой примеси; б) с добавкой 0,1%-ой концентрации пинена; в) с добавкой 0,01%-ой концентрации пинена.

= 1200 ГОСТ). Однако локализация следа оказывается недостаточно хорошей вследствие значительной протяженности яркого участка и неопределенности его границ. Требуется какое-то воздействие на механизм развития разряда с целью улучшения локализации следа.

Как известно <sup>/10/</sup>, примеси могут существенно влиять на механизм разряда в инертных газах. Поскольку стримерный механизм развития разряда связан с распространением и поглощением фотонов <sup>/10,11/</sup>, можно было ожидать, что добавки, поглощающие фотоны, изменят характер распространения стримеров от области первичной лавины.

Для проверки влияния гасящих добавок в гелий вводилась примесь различных углеводородов, которые имеют широкий спектр поглощения фотонов. Их поглощающая способность и сечение ионизации зависят от сложности молекулы. Кроме того, углеводороды были выбраны из числа различных гасящих добавок с целью уменьшения ассортимента дополнительных атомов, вводимых в гелий.

Было исследовано влияние таких добавок, как метан ( $\text{CH}_4$ ), бензол ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), гексан ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ) и пинен ( $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ ). При концентрации бензола, гексана и пинена, равной 0,1% (для метана при концентрации  $\approx 1\%$ ), локализация свечения действительно улучшается (рис. 1б), причем вид разряда слабо зависит от типа углеводорода. При понижении концентрации примеси для бензола и гексана картина разряда постепенно переходит в вид, характерный для гелия.

При понижении концентрации пинена было замечено совершенно особое поведение разряда, заключающееся в том, что вместо протяженной области с повышенной яркостью на разрядах, в области их центров образования, появлялись очень резко локализованные почти сферические ярко светящиеся образования — "точки" (рис. 1в). Локализация достигает оптимума при концентрации пинена на уровне сотых долей процента. На рис. 2 приведена зависимость плотности всех разрядов по треку  $\bar{n}$

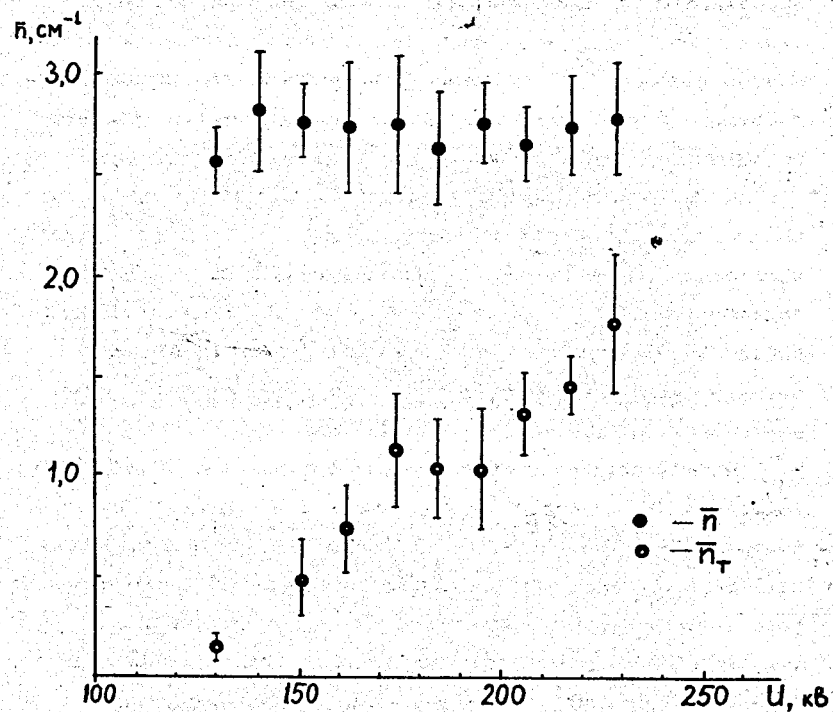


Рис.2. Зависимость числа разрядов  $\bar{n}$  и числа разрядов с локализованными светящимися центрами  $\bar{n}_T$  на единицу длины от амплитуды высоковольтного импульса.

и плотности разрядов с "точками" -  $\bar{n}_T$ . Размер светящихся областей не меняется с изменением напряженности поля (во всяком случае в диапазоне 13-25 кВ/см), а их плотность ( $\bar{n}_T$ ) не зависит от задержки высоковольтного импульса (в пределах постоянства  $\bar{n}$ ) или длительности фронта нарастания высоковольтного импульса, т.е. эффект резкой локализации наступает при определенной концентрации примеси, зависит от приложенного к камере напряжения и не зависит от концентрации первичных электронов. Это явление можно качественно объяснить "выгоранием" примеси в участках разряда с максимальной концентрацией электронов при близких значениях концентраций примеси и электронов.

В используемом режиме работы камеры яркость треков зависит от их числа, так как уменьшается доля энергии, приходящаяся на один трек. Хотя и существуют некоторые процессы, компенсирующие это явление, способность камеры в таком режиме регистрировать одновременно несколько треков ограничена.

С целью оценки возможных искажений трека в камере был проведен расчет смещения центра образования стримеров  $d$  от значения  $E/r$  для нескольких времен нарастания фронта импульса  $t$ , на основании условия Мика  $\alpha d = 20$ , где  $\alpha$  - первый коэффициент Таусенда, а  $d$  - путь лавины до начала стримерного механизма развития разряда.

В главе II описывается установка с гелиевой стримерной камерой, предназначенная для комплексной проверки пригодности предложенного режима работы камеры в реальных условиях работы на ускорителе <sup>15/</sup>. Камера предназначалась для регистрации останавливающихся мюонов.

Для управления камерой был выбран метод, основанный на анализе ионизационных потерь вблизи точки остановки частицы. Этот анализ проводился с помощью специально разработанного многократного пропорционального счетчика <sup>16/</sup>. Управление работой камеры осуществлялось двумя пропорциональными



счетчиками, включенными на совпадения. Счетчики имеют сетчатые электроды и общий газовый объем со стримерной камерой, т.е. минимальное количество вещества между точкой анализа энергии частицы и точкой остановки. Расположение пропорциональных счетчиков вблизи стримерной камеры в общем с ней газовом объеме потребовало специальной экранировки счетчиков, выбора их минимального удаления от камеры, выравнивания электрического поля в районе перехода объема камеры в объем счетчиков и мероприятий по устранению накопления зарядов на диэлектриках. На рис. 3 приведена общая блок-схема установки. Для пучка мюонов, имеющего разброс по пробегам около  $3 \text{ г/см}^2$ , в камере диаметром 400 мм с плотностью гелия  $7 \text{ мг/см}^2$ , система отбора позволяет получить одну остановку на 40-15 срабатываний. Максимальная скорость набора интересующих событий составляет 4-5 событий в минуту.

Анализ фотографий  $\mu e$ -распадов (рис. 4) в камере показал зависимость структуры следа от ионизации. Останавливающийся в камере мезон имеет сплошной, бесструктурный след с характерным увеличением яркости к точке остановки. Хотя фотометрирование следов мюона и электрона дало разницу в почернении всего в 5-10 раз, разница в ионизации визуально хорошо идентифицируется. Положение точки вылета электрона всегда соответствует концу (с точностью до ширины следа) следа мюона, т.е. след останавливающейся частицы соответствует ее пробегу. Минимальный угол наклона трека к направлению электрического поля, при котором не меняется его структура, составляет  $40^\circ$ . На рис. 5 представлено распределение ошибок измерения на стереопроекторе углов наклона треков электронов. В камере не обнаружено систематических изменений чувствительности по высоте или азимуту.

В §1 главы III даны результаты экспериментов по наблюдению треков заряженных частиц в гелиевой камере при наличии значительной концентрации газа <sup>18/</sup>. Это может оказаться полезным для расширения ассортимента ядер, с которыми

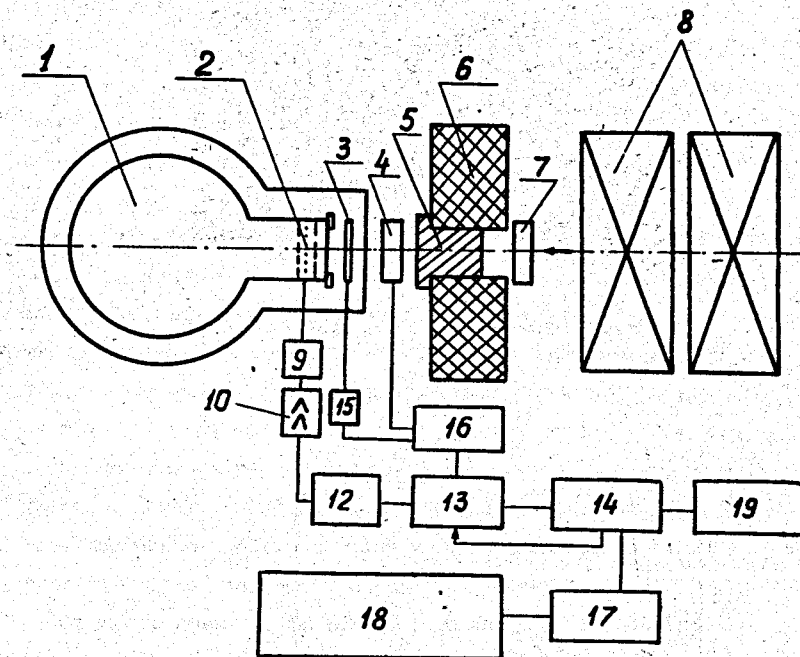


Рис.3. Блок-схема установка для регистрации мюонов. 1 - камера, 2 - пропорциональные счетчики, 3,4 - сцинтилляционный телескоп, 5 - бериллиевый фильтр, 6 - защита, 7 - дополнительный фильтр, 8 - квадрупольные линзы мезонного канала, 9,10 - усилитель, 12 - дискриминатор, 13 - схема пропускания, 14 - схема управления и блокировки, 15,16 - дискриминатор и схема совпадений, 17 - тиратронный генератор, 18 - ГИН типа Аркадьева-Маркса, 19 - схема управления фотоаппаратом.

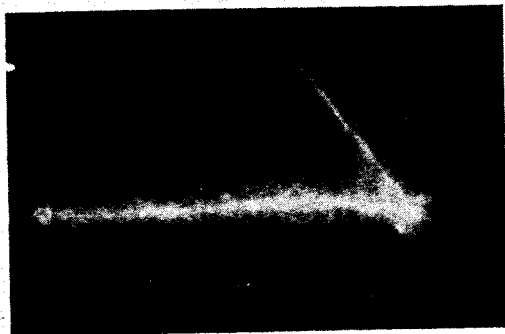


Рис.4. Фотография  $\mu$ -распада.

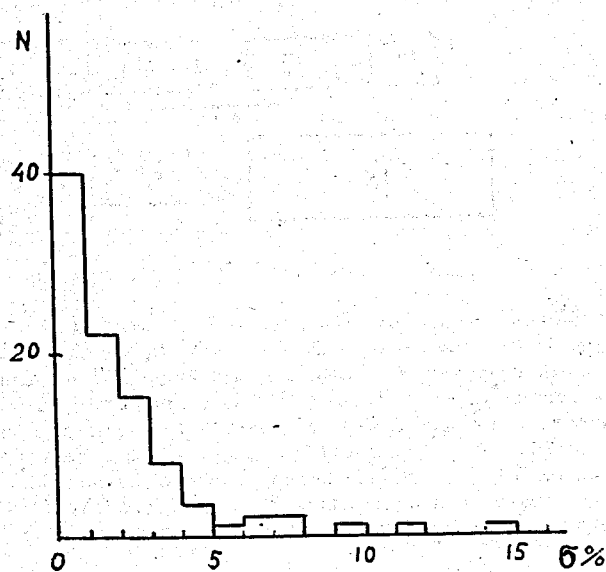


Рис.5. Распределение ошибок измерений глубинных углов.

может работать стримерная камера-мишень. Для выяснения характеристик камеры, работающей при больших концентрациях примеси, было исследовано влияние различных концентраций метана при общем давлении газа в камере 740 тор. С увеличением концентрации метана трек становится более контрастным за счет падения свечения всего газового объема, а затем начинается заметное снижение яркости трека, которое приблизительно пропорционально квадрату увеличения концентрации (давления) при данной амплитуде высоковольтного импульса. Большая яркость свечения в районе трека позволяет фотографировать следы при снижении общей светимости разряда более, чем на порядок по сравнению с гелием. При больших (больше 5%) концентрациях метана спектральный состав излучения определяется целиком этим газом. При этом яркость трека можно повысить дополнительной добавкой азота на уровне 0,1%-ой концентрации за счет трансформации ультрафиолетового излучения метана. Особенно характерно влияние добавки азота в смеси гелия и водорода, так как водород почти не имеет излучения в области видимого спектра. На рис. 6 приведена фотография трека в смеси 80% He + 20% CH<sub>4</sub> + 0,1% N<sub>2</sub> при напряженности электрического поля 27 кв/см на пленку S<sub>0,85</sub> = 1200 ГОСТ при относительном отверстии объектива 1:2,8.

С целью выяснения возможности увеличения плотности вещества в стримерной камере было предпринято изучение работы камеры в режиме локализации свечения разряда при различных давлениях гелия. Эти данные также в известной мере могут быть экстраполированы на работу гелиевой камеры при низких температурах. Было обнаружено, что с повышением давления меняется как яркость, так и структура трека [4,9]. При давлении около 3 атм. след становится бесструктурным, диффузным, и при дальнейшем повышении давления исчезает в общем диффузном свечении всего объема камеры. Дополнительная очистка гелия снижает порог исчезновения трека. Таким образом, получение треков частиц при повышенном давлении существенно



Рис.6. Фотография трека электрона в смеси 80% He + 20% CH<sub>4</sub>



Рис.7. Фотография трека электрона при  $p = 6$  атм.

зависит от наличия в камере примеси. Из исследовавшихся примесей наилучший результат дала примесь пинена на уровне 0,08–0,06%. С этой примесью удалось получить треки вплоть до давления в 6 атм. при напряженности электрического поля в камере, не превышающем 30 кв/см. Фотография следа при давлении 6 атм приведена на рис. 7.

Основные результаты можно сформулировать следующим образом.

1. Предложен новый подход к локализации свечения газового разряда в области его возникновения. Путем воздействия на конфигурацию разряда в гелии добавки на уровне 0,1–0,01% концентрации удается изменить распределение яркости излучения вдоль разряда и получить хорошо локализованную область свечения с достаточно высокой яркостью в районе следа частицы.

2. Разработана и экспонирована в пучке частиц от ускорителя экспериментальная установка с управляемой гелиевой стримерной камерой, предназначенная для детектирования остановок мюонов. Просмотр и обмер полученных фотографий показали равномерность чувствительности камеры и возможность визуальной идентификации событий по ионизации. Локализация следа позволяет измерять глубинный угол с точностью 2% и пробег частицы не хуже 0,2–0,3 мм в пространстве объекта.

3. Предложенный режим работы камеры позволяет реализовать ее работу со значительными примесями других газов. Концентрации примеси могут составлять десятки процентов. Яркость, достаточная для фотографирования трека, достигается без существенного увеличения напряженности поля в камере путем введения дополнительной примеси азота, сдвигающей спектр излучения.

4. Исследована возможность получения локализованной области свечения разряда при давлениях выше атмосферного (в пределах 6 атм.). Определены требования к составу газа в камере и напряженности электрического поля для получения фотографируемых треков заряженных частиц.

5. Рассмотрены некоторые принципы конструирования камер, импульсных генераторов, системы управления. Проведен анализ возможных причин искажения треков в камере и разработаны методы борьбы с ними.

#### Л и т е р а т у р а

1. В.А. Михайлов, В.И. Ройнишвили, Г.Е. Чиковани. ЖЭТФ, 45, 3, 818 (1963).
2. Б.А. Долгошеин, Б.И. Лучков. ЖЭТФ 46, 1, 393 (1964).
3. М.М. Бутслов, В.И. Комаров, О.В. Савченко. ЖЭТФ, 46, 2245 (1964).
4. М.М. Кулюкин, Д.Б. Понтекорво, И.В. Фаломкин, Ю.А. Шербаков. ПТЭ, 6, 70 (1965).
5. М.М. Кулюкин, Д.Б. Понтекорво, И.В. Фаломкин, Д.М. Хазинс, Ю.А. Шербаков. ПТЭ, 4, 48 (1967).
6. М.М. Кулюкин, Д.Б. Понтекорво, И.В. Фаломкин, Д.М. Хазинс, Ю.А. Шербаков. ПТЭ, 2, 101 (1967).
7. М.М. Кулюкин, Д.Б. Понтекорво, И.В. Фаломкин, Ю.А. Шербаков, Препринт ОИЯИ P13-3123, Дубна 1967.
8. I.V.Falomkin, M.M.Kulyukin, G.B.Pontecorvo, Yu.A.Scherbakov. Int. Symp. Nucl. Electronics, Versailles, Sept. 1968. V.3, Paris, 1968, p.81; 8-4.
9. I.V.Falomkin, M.M.Kulyukin, V.L.Lyaschenko, A.G.Petrov, G.B.Pontecorvo, Yu.A.Scherbakov. Int. & Symp. Nucl. Electron. Versailles. Sept. 1968, V.3, Paris, 1968, p.9-1, 9-9.
10. Дж. Мик, Дж. Крэгс "Электрический пробой в газах", ИЛ, Москва (1960).
11. H.Raether. "Electron Avalanches and Breakdown in Gases". London (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 октября 1969 года.