

К-84

13-83-579

КРУГЛОВ

Владимир Васильевич

ОБНАРУЖЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ  
ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НОВОГО  
СИЛЬНОТОЧНОГО (САМОГАСЯЩЕГОСЯ СТРИМЕРНОГО)  
РЕЖИМА РАБОТЫ ПРОВОЛОЧНЫХ КАМЕР.  
СОЗДАНИЕ БОЛЬШИХ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР

Специальность: 01.04.01 – экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем  
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук

Д.М.Хазинс

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор

С.П.Денисов

кандидат физико-математических наук

В.Д.Пешехонов

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт теоретической и экспериментальной физики (Москва).

Защита диссертации состоится " " \_\_\_\_\_ 1983 г.  
в \_\_\_\_\_ часов на заседании Специализированного совета Д-047.01.03  
при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных  
исследований, г.Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1983 г.

Ученый секретарь Специализированного совета  
доктор физико-математических наук

Ю.А.Батусов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Координатная информация о треках заряженных частиц является одной из основных в экспериментах в физике высоких энергий. Ко времени начала работы автора над диссертацией (1975г.) в практику физического эксперимента в качестве координатных детекторов вошли многопроволочные камеры, работающие в пропорциональном режиме — обычные пропорциональные и дрейфовые камеры. Использование пропорционального режима позволило в этих камерах получить наряду с высокой координатной точностью уникальную загрузочную способность, что явилось решающим фактором их широкого распространения. Однако изготовление и эксплуатация камер, работающих в пропорциональном режиме усложняется двумя следующими обстоятельствами, которые особенно заметны в камерах большого ( $>1\text{м}$ ) размера. К ним относятся: а) малая амплитуда сигнала ( $I \sim 10 \text{ мкА}$ ) и б) малый диаметр анодной проволоки (типично  $20 \text{ мкм}$ ).

После появления пропорциональных камер, во многих лабораториях началось систематическое исследование их свойств. В ряде случаев было обращено внимание на аномально большие сигналы, возникающие в камерах при некоторых условиях. Особый интерес представляла работа, выполненная в 1974 году группой Шарпака, в которой исследовалась работа камеры с толстыми ( $d_a = 100 \text{ мкм}$ ) анодными проволоками. Были получены аномально большие сигналы, которые были подробно изучены. Исследователи пришли к выводу, что наблюдается разряд типа гейгеровского, с ограниченным ( $\sim 1 \text{ см}$ ) распространением вдоль анодной проволоки (псевдогейгеровский разряд). Большая амплитуда сигнала позволяла упростить электронику считывания информации и повысить помехозащищенность камер, а толстая анодная проволока — конструкцию камер и технологию их изготовления. Однако псевдогейгеровский режим имел недостаточно высокую загрузочную способность, что являлось его существенным недостатком. Кроме этого была получена малая ширина рабочей области камеры ( $\sim 100 \text{ В}$ ), которая указывала на возможную неустойчивость режима. Требовалось исследовать также ресурс работы камеры и ряд других характеристик режима.

Наряду с этими принципиальными проблемами методики многопроволочных камер, связанными с механизмом газового разряда, существовали

значительные конструктивные и технологические трудности, которые возникали при создании камер большого размера с малым количеством вещества на пути частиц. Известные в мировой практике камеры с малым количеством вещества имели небольшие размеры, поэтому их изготовление было довольно просто. Однако при увеличении размеров до нескольких метров, традиционная конструкция камер требовала создания сложного специального оборудования. Недостаточно полно для практических приложений был исследован также вопрос о необходимой точности расположения и натяжении электронов в камере.

Актуальность этих исследований была вызвана не только общими потребностями физического эксперимента. Требовалось создать систему координатных детекторов размером  $3 \times 0,8 \text{ м}^2$  с малым количеством вещества на пути частиц для экспериментов по физике релятивистских позитрониев.

Цель работы. Диссертация посвящена обнаружению и исследованию основных характеристик нового сильноточного (самогасящегося стримерного) режима работы проволочных камер, разработке конструктивных и технологических принципов изготовления многопроволочных камер большого размера с малым количеством вещества и созданию на основе этих исследований системы трехметровых дрейфовых камер, работающих в самогасящемся стримерном режиме для экспериментов по физике релятивистских позитрониев.

Научная новизна и практическая ценность. Получен ряд новых результатов. К основным из них относятся следующие. Обнаружен новый сильноточный режим работы проволочных камер и исследованы его основные характеристики. Сделан вывод о том, что в основе сильноточного режима лежит новый механизм газового разряда. Обоснована практическая ценность нового режима. В частности, впервые сделан важный вывод о высокой загрузочной способности камер, работающих в сильноточном режиме, сравнимой в некоторых случаях с загрузочной способностью пропорциональных камер. Проведен широкий цикл исследований по изучению влияния газового наполнения на характеристики самогасящегося стримерного (СГС) режима, интересных как с точки зрения практического применения нового режима, так и с точки зрения лучшего понимания механизма образования стримера.

Разработаны и проверены на прототипе конструкция и технология изготовления больших многопроволочных камер с малым количеством вещества на пути частиц, не требующие точного изготовления крупногабаритных деталей и специального оборудования. Получены и экспериментально проверены формулы для расчета допустимых неточностей и необходимого натяжения проволочных электронов в камере.

Создана система трехметровых дрейфовых СГС камер. Проведено исследование характеристик системы камер в составе экспериментальной установки, предназначенной для изучения релятивистских позитрониев. Получена эффективность СГС камер  $\approx 99\%$  в условиях высокой радиационной загрузки ( $2 \times 10^6 \text{ м}^{-1} \text{ с}^{-1}$ ) и координатная точность  $\sigma \approx 0,2 \text{ мм}$ .

Апробация работы. В диссертации описаны результаты исследований, выполненных в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ с 1975 по 1982 г. Результаты докладывались на семинарах ЛЯП ОИЯИ, а также на III Международном совещании по пропорциональным и дрейфовым камерам (Дубна, 1978 г.), на сессиях Отделения ядерной физики АН СССР (Москва, 1978 г. и 1980 г.), на конференции по проволочным камерам (Вена, 1980 г.), представлены на Рочестерскую конференцию (Париж, 1982 г.).

Публикации. Результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы в 9 работах.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения; она содержит 122 страницы, 39 рисунков, 4 таблицы и библиографический список из 53 наименований.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрены основные вопросы, поставленные в диссертации. В частности дана краткая характеристика многопроволочных камер с бесфильмовым съемом информации и обращено внимание на обстоятельства, усложняющие использование пропорционального режима в камерах большого размера, сделан обзор работ, в которых было отмечено существование в камерах аномально больших сигналов, изложена история обнаружения нового сильноточного (самогасящегося стримерного) режима работы проволочной камеры. Рассмотрены проблемы, связанные с изготовлением больших многопроволочных камер с малым количеством вещества на пути частиц.

Первая глава диссертации посвящена обнаружению нового режима работы проволочной камеры. В ней описаны исследования по наблюдению нового сильноточного режима работы камеры, приведены его основные характеристики, сделан вывод о принципиальной новизне сильноточного режима, отмечены его преимущества по сравнению с пропорциональным режимом в камерах большого размера.

В 1974 году в работе группы Шарпака был описан режим больших сигналов в проволочной камере с толстой анодной проволокой и высказана

гипотеза, что этот режим является псевдогейгеровским. Измерение нагрузочной способности псевдогейгеровского режима показало, что мертвое время камеры, отнесенное к 1 см длины анодной проволоки, равно 330 мкс. Исходя из этой величины был сделан вывод, что этот режим может применяться в камерах большого размера в экспериментах с низкой нагрузкой.

Следуя этой работе мы также провели исследование характеристик камеры с толстой ( $d_a = 50$  мкм) анодной проволокой  $1/1$ . Цель исследования состояла в том, чтобы получить устойчивый режим больших сигналов с лучшей нагрузочной способностью. Была надежда, что этого можно добиться соответствующим подбором газового наполнения и геометрических параметров камеры.

Устойчивый режим больших сигналов был получен с газовой смесью из аргона, метана и метилала в соотношении 50:33:17. С данной газовой смесью большие импульсы начинали появляться при напряжении на камере  $U \approx 3,5$  кВ. Они имели близкую к треугольной форму, длительность на полувысоте  $t_{0.5} \approx 40$  нс и по основанию  $\sim 100$  нс. Форма импульсов и длительность не менялись при изменении  $U$ . Динамика перехода в режим больших сигналов показана на рис.1, на котором представлены амплитудные распределения в области напряжений питания камеры, где наблюдаются импульсы как пропорционального, так и нового режимов. Счетные характеристики камеры в режиме больших сигналов приведены на рис.2. Высокая эффективность камеры  $\epsilon \approx 100\%$ , большая ширина плато по напряжению  $\sim 1$  кВ и низкий уровень шумов свидетельствуют о стабильности режима.

Исследование нагрузочной способности камеры показало, что величина неэффективности  $\Delta \epsilon$  является функцией плотности загрузки  $n$  анодной проволоки и описывается формулой  $\Delta \epsilon = \zeta \cdot n$ . Коэффициент пропорциональности  $\zeta$ , равный в нашем случае  $\zeta = 32$  мкс·см, имеет размерность произведения времени на длину и может быть интерпретирован как "мертвая зона" на анодной проволоке, которую создает один импульс.

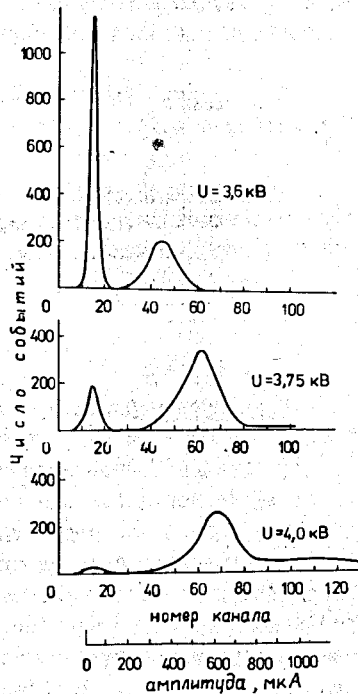


Рис.1 Амплитудные спектры.

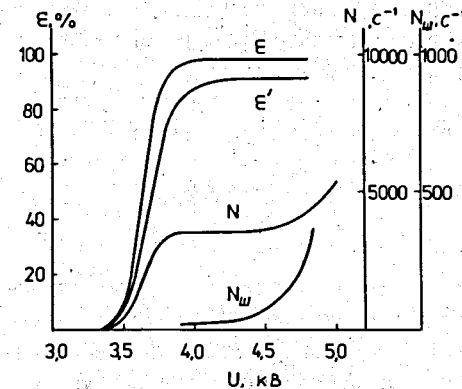


Рис.2. Счетные характеристики камеры при пороге регистрации 125 мкА. Здесь  $\epsilon$  — эффективность,  $N$  — скорость счета на выходе усилителя,  $N_w$  — шум. Кривые  $\epsilon$  и  $\epsilon'$  соответствуют различным плотностям загрузки анодной проволоки  $n = 640 \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$  и  $n' = 1900 \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$

Сравнение характеристик больших сигналов, полученных в работе группы Шарпака и нами  $1/1$ , указывает на совпадение их некоторых основных особенностей. Однако количественные различия существенны.

Так, в первом случае была получена ширина плато счетной характеристики  $\Delta U \approx 100$  В и величина мертвой зоны  $\zeta \approx 330$  мкс·см, которые свидетельствовали о неустойчивой работе и низкой нагрузочной способности камеры в режиме больших сигналов. Полученные в  $1/1$  на порядок лучшие характеристики ( $\Delta U \approx 1000$  В и  $\zeta \approx 32$  мкс·см) позволяли говорить о наблюдении нами устойчивого нового сильноточного режима работы проволочной камеры, пригодного для практического применения.

К основным характеристикам нового режима, наряду с представленными выше, относятся также токовая характеристика и ресурс работы камеры.

Токовая характеристика, т.е. зависимость средней амплитуды импульса тока с камеры от напряжения питания, представлена на рис.3. Отметим значительную ширину по напряжению ( $\sim 500$  В) области совместного существования импульсов пропорционального и сильноточного режимов, большой скачок амплитуды тока ( $> 20$  дБ) в этой области и экспоненциальную зависимость амплитуды импульсов обоих режимов. Из рис.3 видно, что в сильноточном режиме эта зависимость более слабая чем в пропорциональном, что важно для практических приложений. Интересно

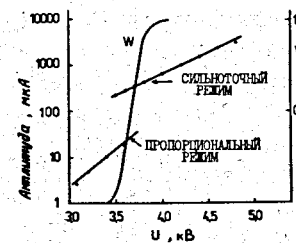


Рис.3. Зависимость средней амплитуды сигнала от напряжения питания камеры.  $W$  — доля сильноточных импульсов.



также отметить, что несмотря на экспоненциальный рост амплитуды импульсов, загрузочная способность камеры в сильноточном режиме не ухудшается при увеличении  $U$ , как это видно из кривой  $\varepsilon'$  на рис.2.

Исследование ресурса работы камеры показало, что камера сохраняет работоспособность до тех пор, пока поток облучения не превышает  $7 \cdot 10^9$  частиц на 1 см длины анодной проволоки. Эта цифра достаточно велика. Например, для камеры размером  $1 \times 1 \text{ м}^2$  с шагом намотки анодной проволоки 1 см при непрерывной загрузке  $10^6 \text{ с}^{-1}$  ресурс работы камеры в сильноточном режиме составляет 20000 часов.

Наряду с описанными выше исследованиями была изучена также структура мертвой зоны. Методом задержанных самосовпадений сигналов с камеры была определена зависимость от времени длины участка анодной проволоки, который становится нечувствительным после возникновения импульса сильноточного режима.

Анализ совокупности основных характеристик сильноточного режима работы проволочной камеры показал, что ни известные режимы работы газоразрядных детекторов, а именно: ионизационный, пропорциональный, гейгеровский и искровой, ни гипотетический псевдогейгеровский разряд, не подходят для их объяснения. Остановимся подробнее на гипотезе о псевдогейгеровском разряде, которая состоит в том, что сильноточный режим — это обычный гейгеровский разряд, но ограниченный на некотором конечном участке анодной проволоки какими-то внутренними причинами. Хотя из этой гипотезы естественно следует большая амплитуда и малая длительность импульса, локальность мертвого времени и малая величина мертвой зоны, однако независимости величины мертвой зоны и длительности импульса от напряжения питания псевдогейгеровский механизм противоречит. Покажем это. Известно, что распространение гейгеровского разряда вдоль анодной проволоки обусловлено фотонным механизмом. С ростом напряжения количество фотонов в разряде возрастает. Следовательно возрастает вероятность фотоионизации вне ограниченного участка анодной проволоки, на котором развивается псевдогейгеровский разряд. В результате с ростом напряжения все больший участок анодной проволоки будет захватываться разрядом, а соответственно будет увеличиваться длительность импульса и величина мертвой зоны. Такое рассмотрение подтверждается известным из методики гейгеровских счетчиков опытом с бусинками. Подобный анализ позволил нам в работе <sup>1/</sup> сделать вывод о принципиальной новизне сильноточного режима. Справедливость этого вывода была в дальнейшем полностью подтверждена в исследованиях Г.Д.Алексеева и др., в которых было показано, что сильноточный режим является по своей природе самогасящимся стримерным (СГС) режимом.

Из характеристик сильноточного режима видно, что он особенно удобен для применения в многопроволочных камерах большого ( $\geq 1 \text{ м}$ ) разме-

ра, где он имеет существенные преимущества по сравнению с пропорциональным режимом. Большая амплитуда сигналов  $A \sim I \text{ мА}$  и скачкообразный характер их возникновения позволяют упростить электронику считывания и повысить помехозащищенность камеры. Кроме этого, применение толстой ( $d_a \geq 50 \text{ мкм}$ ) анодной проволоки существенно упрощает конструкцию камер и технологию их изготовления. Эти достоинства полученного нами сильноточного режима сочетаются с его высокой загрузочной способностью. Действительно предельная скорость счета, которая может быть получена в этом режиме есть  $m = \ell/5$ . При длине анодной проволоки  $\ell = 1 \text{ м}$  и  $S = 30 \text{ мкс} \cdot \text{см}$  получаем  $m \approx 3,3 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ , что сравнимо с загрузочной способностью пропорциональных камер. В принципе, при большой длине анодной проволоки может быть достигнута загрузочная способность в сильноточном режиме выше чем в пропорциональном.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию влияния газового наполнения на характеристики СГС режима <sup>2,3,4/</sup>. Исследованы амплитудные и временные характеристики, стабильность работы камеры в СГС режиме, условия существования в камере как СГС разряда, так и разряда Гейгера-Мюллера (ГМ разряд). Основные измерения выполнены при наполнении камеры газовой смесью из аргона, метана и метилала. Кроме этого сделаны измерения с газовыми смесями, в которых вместо метилала использовались ацетон, этиловый спирт, этиловый эфир и некоторые их комбинации.

Исследование амплитудных характеристик показало, что при изменении концентрации метана в газовой смеси происходит смещение по напряжению амплитудной характеристики, изображенной на рис.3, но наклон кривых и соотношение амплитуд в пропорциональном и стримерном режимах почти не меняются. В отличие от метана увеличение концентрации метилала практически не оказывает влияния на амплитуду сигнала в пропорциональном режиме, но существенно уменьшает её в СГС режиме.

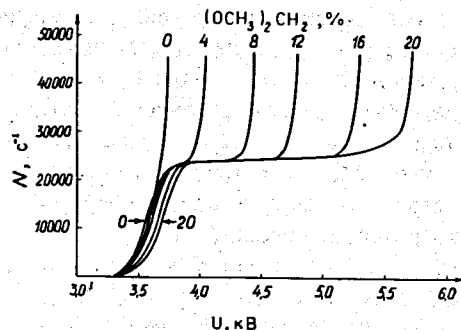
Кроме амплитудных характеристик исследовались также форма и длительность импульсов и мертвая зона. Оказалось, что увеличение концентрации и метана, и метилала довольно сильно уменьшает величину мертвой зоны. Однако на длительность импульсов их действие различно. Если увеличение концентрации метана значительно сокращает длительность импульса, то метилал практически не оказывает на неё никакого влияния.

Большая величина рабочей области камеры по напряжению, полученная нами в работе <sup>1/</sup>, явилась одним из решающих факторов, определивших практическую ценность СГС режима. Этого удалось достигнуть, благодаря использованию газовой смеси, содержащей значительное количество метилала. В работе <sup>2/</sup> было более подробно исследовано влияние метилала на стабильность СГС режима. На рис.4 показано, как расширяется плато счетной характеристики с добавлением метилала. Частично этот эффект можно объ-

яснить уменьшением амплитуды сигнала в СГС режиме с ростом концентрации метилала.

Рис.4. Счетные характеристики камеры при различной концентрации метилала.

$$\frac{CH_4}{Ar+CH_4} - 40\%$$



При исследовании работы камеры с различным газовым наполнением было обнаружено, что в одной и той же камере можно получить как СГС, так и ГМ режим. Если газовая смесь содержит относительно малое количество органических добавок, то при увеличении напряжения на камере вместо перехода из пропорционального режима в стримерный происходит переход в ГМ режим. На рис.5 обозначена граница, выше которой наблюдается СГС режим, а ниже - ГМ режим. Подчеркнем, что для фиксированной газовой смеси наблюдается либо один режим, либо другой. Перехода между ними с помощью изменения напряжения питания получить не удаётся. Место СГС режима среди других режимов работы проволочной камеры иллюстрируется схемой на рис.6.

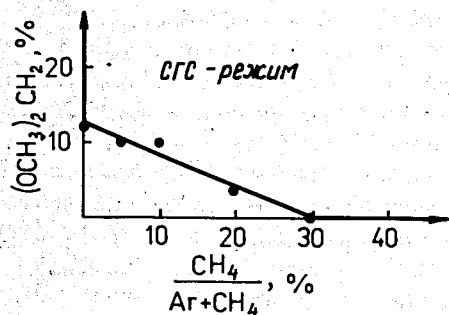


Рис.5. Диаграмма концентраций гасящих добавок, показывающая область существования СГС разряда.

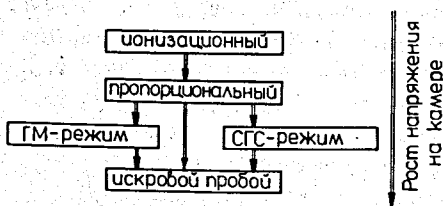


Рис.6. Схема, иллюстрирующая место СГС режима среди других режимов работы проволочной камеры.

Анализ характеристик СГС разряда показывает, что метилаль благотворно влияет на работу камеры. Однако наряду с этим у метилала имеются и неприятные стороны. Так, при использовании метилала в дрейфовых камерах с неоднородным полем, дрейфовая функция оказывается нелинейной, что создает некоторые неудобства. Неприятной стороной метилала с практической точки зрения является необходимость его тщательной химической очистки. Кроме этого, метилаль при некоторых условиях может разрушать проволоку в камере.

С целью найти замену метилалу были исследованы газовые смеси, в которых вместо метилала использовались ацетон, этиловый эфир и этиловый спирт. Выбор этих органических веществ был обусловлен главным образом их доступностью. Добавки вносились в аргон - метановую смесь ( $CH_4/Ar+CH_4=40\%$ ) либо по отдельности, либо в сочетаниях спирт + метилаль, спирт + эфир. В таблице I приведены некоторые экспериментальные данные для исследованных газовых смесей.

Таблица I.

Гасящая добавка	Область рабочих напряжений, кВ	$\Delta U$ , В	$\xi$ , мкс·см	T, нс
Метилаль (17%)	3,4 - 4,1	700	30	170
Ацетон (12,5%)	3,7 - 4,1	400	65	
Спирт (4%)	3,5 - 3,8	300	95	140
Метилаль (2%)+ Спирт (4%)	3,3 - 3,7	400	75	
Метилаль (4%)+ Спирт (4%)	3,3 - 3,9	600	60	
Метилаль (6%)+ Спирт (4%)	3,3 - 4,2	900	40	140
Эфир (10%)+ Спирт (4%)	3,5 - 4,1	600	75	170
Эфир (20%)+ Спирт (4%)	3,6 - 4,5	900	40	210

Экспериментальные данные показывают, что устойчивый СГС разряд может быть получен в различных газовых смесях. Необходимо только, чтобы концентрация гасящих добавок была выше некоторой. С целью сокращения расхода метилала для практического применения может быть рекомендована аргон - метановая смесь ( $CH_4/Ar+CH_4=40\%$ ) с добавками этилового спирта (4%) и метилала (6%).

В третьей главе рассмотрены разработанные нами конструктивные и технологические принципы изготовления камер, позволяющие создавать

большие камеры с малым количеством вещества на пути частиц, без использования сложного технологического оборудования и дорогостоящих материалов. Описаны результаты проверки этих принципов на примере двухкоординатной дрейфовой камеры размером 1,6 x 0,8 м<sup>2</sup> /5/, рассмотрен вопрос о точности пространственного расположения и натяжении проволочных электродов в камерах /6/, исследовано влияние радиационной загрузки на работу камеры /7/.

Вопрос о необходимой точности пространственного расположения и натяжении проволочных электродов имеет исключительно важное значение. От этого существенно зависит конструкция камеры и допуски на точность её изготовления. Этот вопрос уже рассматривался ранее рядом авторов, но не в полном объёме. Имея в виду дальнейшие приложения, будем рассматривать камеру, в которой анодные проволочки диаметром  $d_a$  расположены с шагом  $S_a$ ; катодные плоскости намотаны проволокой диаметром  $d_k$  с шагом  $S_k$  и удалены от анода на расстояние  $L$ . Выбрана следующая система координат: начало находится посередине одной из анодных проволочек; ось  $X$  лежит в плоскости анодных проволочек; ось  $Y$  направлена перпендикулярно этой плоскости; ось  $Z$  совпадает с анодной проволокой.

Возможные неточности в расположении электродов приводят к неравномерному распределению линейной плотности заряда ( $q$ ) на анодных проволочках. Формула, связывающая относительное изменение  $q$  при изменении зазора ( $L$ ), шага ( $S_a$ ) и радиуса анодной проволоки ( $R$ ) имеет вид

$$\frac{dq}{q} \approx 2C_0 \frac{dR}{R} + 4C_0 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\frac{\pi S_a k}{2L}}{\operatorname{sh} \frac{\pi S_a k}{2L}} \cdot \frac{dS_a}{S_a} - 2C_0 \left( 1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\frac{\pi S_a k}{2L}}{\operatorname{sh} \frac{\pi S_a k}{2L}} \right) \frac{dL}{L}, \quad (1)$$

где  $C_0 = 1 / \left[ 2 \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \ln \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi L}{S_a} (2k+1)}{\operatorname{sh} \frac{\pi L}{S_a} (2k + \frac{R}{L})} \right]$  - емкость камеры на единицу длины анодной проволоки.

Если вся анодная плоскость смещена от центра зазора на расстояние  $\Delta y$ , то

$$\left( \frac{\Delta q}{q} \right)_{\Delta y} = C_0 \left( \frac{\pi}{2} \right)^2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\operatorname{ch}^2 \frac{\pi}{4L} (R + kS_a)} \left( \frac{\Delta y}{L} \right)^2. \quad (2)$$

Если же смещена только одна анодная проволока, то

$$\left( \frac{\Delta q}{q} \right)_{y_{np}} = \frac{\pi^2}{4 \ln \operatorname{cth} \frac{\pi R}{4L}} \left( \frac{1}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi S_a k}{2L}}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi S_a k}{2L}} \right) \left( \frac{y_{np}}{L} \right)^2 \quad (3)$$

$$\left( \frac{\Delta q}{q} \right)_{x_{np}} = \frac{\pi^2}{4 \ln \operatorname{cth} \frac{\pi R}{4L}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\operatorname{ch} \frac{\pi S_a k}{2L}}{\operatorname{sh}^2 \frac{\pi S_a k}{2L}} \left( \frac{x_{np}}{L} \right)^2, \quad (4)$$

где  $x_{np}$  и  $y_{np}$  - величины смещения анодной проволоки.

Изменение плотности заряда на соседней анодной проволоке при этом дается формулой

$$\left( \frac{\Delta q}{q} \right)'_{x_{np}} = - \frac{\pi}{2 \ln \operatorname{cth} \frac{\pi R}{4L}} \cdot \frac{\operatorname{sh} \frac{\pi S_a}{2L}}{\operatorname{sh} \frac{\pi S_a}{2L}} \cdot \frac{x_{np}}{L}. \quad (5)$$

Все эти формулы получены с использованием метода изображений и теории комплексного потенциала. В таблице 2 приведены допуски, рассчитанные по формулам (1-5) для двух камер с разным шагом намотки анодных проволочек ( $S_a = 2$  мм и  $S_a = 10$  мм). Расчеты проведены в предположении, что допустимая неоднородность плотности заряда составляет 1%, что соответствует смещению в пределах 1% по напряжению всех характеристик камеры. Из приведенных в таблице 2 цифр видно, что требования к точности расположения электродов более слабые для камер с большим шагом.

Таблица 2.

	$S_a = 10$ мм, $S_k = 2$ мм $L = 9$ мм, $R = 10$ мкм $l_a = l_k = 100$ см, $U = 4$ кВ	$S_a = 2$ мм, $S_k = 2$ мм $L = 9$ мм, $R = 10$ мкм $l_a = l_k = 100$ см, $U = 4$ кВ
$\Delta R/R$	8%	17,5%
$\Delta S_a$	0,4 мм	0,03 мм
$\Delta(2L)$	+0,25 мм	+0,1 мм
$\Delta y$	+1,5 мм	+1,0 мм
$x_{np}$	+1,1 мм	+0,15 мм
$y_{np}$	+1,5 мм	+0,4 мм
$T_a$	14 Г	55 Г
$T_k$	26 Г	145 Г

Расчет натяжения проволочек был выполнен нами с учетом возможных неточностей при изготовлении камер, чего не было сделано в работах других авторов. Оказалось, что учет погрешностей более чем в два раза повышает требования к натяжению анодных проволочек. Формула для расчета натяжения анодных проволочек имеет вид



$$T_a = 2,55 \cdot 10^{-2} \frac{l_a^2}{L^2} U^2 C_0^2 \left( \frac{1}{4} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{ch \frac{\pi S_a k}{2L}}{sh^2 \frac{\pi S_a k}{2L}} \right), \quad (6)$$

а для катодных -

$$T_k = 0,35 \cdot 10^{-3} \frac{\pi l_k^2 S_k U^2 C_0^2}{y_k L S_a} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{ch \frac{\pi S_a k}{2L}}, \quad (7)$$

в которых  $l_a$  и  $l_k$  - длины анодной и катодной проволок,  $y_k$  - допустимое смещение катодных проволок;  $T_a$  и  $T_k$  измеряются в Г;  $U$  - в кВ;  $l_a$ ,  $l_k$ ,  $S_a$ ,  $S_k$ ,  $L$  и  $y_k$  - в см.

Полученные формулы пригодны для вычисления натяжения проволок в камерах с произвольным  $S_a$ . Рассчитанные натяжения проволок приведены в таблице 2. Правильность расчета натяжения проволок была подтверждена экспериментально.

Обычно плоскости проволочных электродов закрепляют на отдельных жестких рамках, чтобы обеспечить разборность камеры. (Мы рассматриваем камеру, в которых все электроды проволочные, так как в этих камерах количество вещества на пути частиц в 10 раз меньше, чем в получивших в последнее время распространение камерах на основе сотовых панелей или профилированного пластика.) Изготовленные с необходимой точностью рамки с электродами собирают в пакет. С увеличением размеров камеры жесткость отдельных рамок оказывается недостаточной для обеспечения требуемого натяжения электродов и приходится применять дополнительные внешние рамы, которые необходимо изготавливать с довольно высокой точностью. Для камер с линейными размерами в несколько метров изготовление таких рам представляет серьезную технологическую проблему и требует специального оборудования. Кроме того, рамы имеют значительный вес, что усложняет процесс изготовления и ремонта камер. Для того, чтобы обойти эти трудности, нами была предложена новая конструкция камер и разработана технология их изготовления, которые были реализованы в дрейфовой камере размером 1,6 x 0,8 м<sup>2</sup>. Дрейфовая камера (ДК) представляет собой пакет из семи рамок (рис.7), на которой закреплены две анодные (А), три катодные плоскости (К) и лавсановые окна (2). ДК имеет следующие геометрические параметры:  $S_a = 10$  мм,  $d_a = 50$  мкм,  $S_k = 2$  мм,  $d_k = 100$  мкм,  $L = 9$  мм. Как анодные, так и катодные плоскости намотаны проволокой из бериллиевой бронзы с натяжением 100 Г. Рамки (1) изготовлены из алюминиевого листового проката толщиной 5 мм. Простота обработки и возможность сварки является большим достоинством алюминиевого сплава при мелкосерийном производстве камер, т.к. позволяют довольно просто изготавливать рамки любой конфигурации. На рамки наклеены

полосы (3) стеклотекстолита толщиной 2 мм с печатными электродами. Склейка производилась в вакуумном мешке. Зазор между плоскостями камеры задается калиброванными брусками (4) из плексигласа, изготовленными с точностью  $\pm 0,05$  мм. Брусочки (4) являются единственной точной деталью в данной конструкции.

Для герметизации объема камеры применяется вакуумный резиновый шнур (5). Пакет растянут тягами (6) и (7) внутри внешней фермы (8). Тяги (6) выполнены в виде пружин, чтобы ослабить влияние возможных деформаций фермы и упростить процедуру растяжения. Контроль за растяжением пакета производится по частоте собственных колебаний контрольных проволок (9), закрепленных снаружи пакета. Оставшаяся после растяжения неплоскостность пакета устраняется с помощью навесных упругих элементов (10) с отжимными винтами (11). Упругий элемент представляет собой П-образный алюминиевый профиль, концы которого закреплены по углам пакета. Ввинчивая или вывинчивая винты (11), изгибают пакет и добиваются необходимой плоскостности камеры. Камера считается выпрямленной, если отсутствует электрический контакт между специальными контрольными проволоками (12) и анодными проволоками.

Намотка проволочных электродов камеры производилась на специальном монтажном столе простой конструкции. Разработанный способ намотки обеспечивает необходимую точность расположения проволок ( $\pm 0,05$  мм) - для анодных плоскостей и натяжение проволок с точностью  $\pm 5\%$  при производительности 250 проволок в час.

Были проведены стендовые испытания ДК. В пропорциональном режиме ДК имеет диапазон рабочих напряжений 3,45 + 3,8 кВ, эффективность

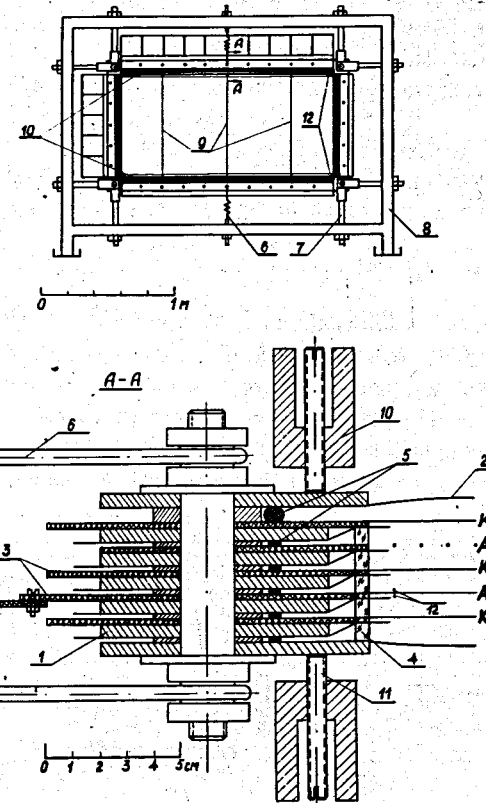


Рис.7. Конструкция камеры.

99,9% и уровень шумов на плато  $\sim 5 \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-1}$ . Счетные характеристики отдельных проволок смещены друг относительно друга не более чем на  $\pm 10 \text{ В}$ . Последняя цифра свидетельствует о том, что разработанные конструкция и технология обеспечивают высокую точность изготовления камеры.

При проведении стендовых испытаний было выполнено исследование влияния радиационной загрузки на работу камеры. Эксперимент показал, что изменение в поведении счетных характеристик в зависимости от загрузки обусловлено пространственным зарядом положительных ионов, которые образуются в камере в процессе её работы. Были получены простые формулы для оценки эффекта радиационной загрузки.

В четвертой главе диссертации описана система дрейфовых камер<sup>8,9/</sup>, работающих в СГС режиме, составляющая основу экспериментальной установки для исследования релятивистских позитрониев на протонном синхротроне ИФВЭ. Описана конструкция и электронная аппаратура ДК, а также их характеристики, измеренные в условиях эксперимента.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 8. Позитроны  $A_{2e}$ , которые образуются при распаде  $\pi^0$ -мезонов, генерированных на внутренней мишени ускорителя, двигаясь по вакуумному каналу попадают в анализирующий магнит (М).

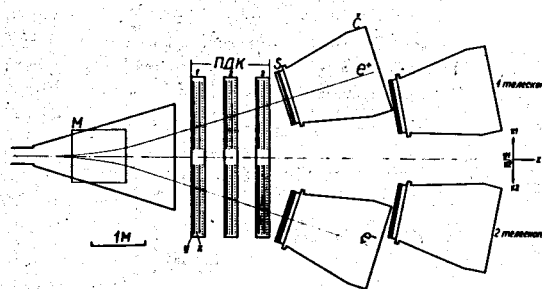


Рис.8. Схема экспериментальной установки. ДК- дрейфовые камеры, S - сцинтилляционные счетчики, С - газовые черенковские счетчики, М - анализирующий магнит.

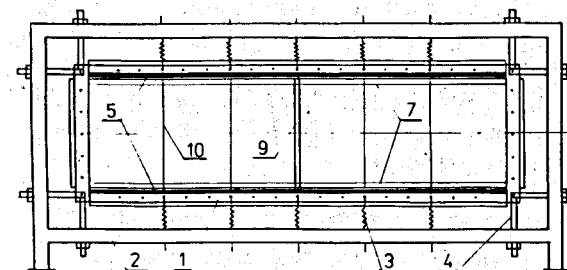
ордinate треков  $e^+$  и  $e^-$ . При разработке данной системы ДК были учтены требования, налагаемые условиями эксперимента, которые состоят в следующем: а) камеры должны иметь минимальное количество вещества на пути частиц, чтобы свести к минимуму вклад многократного рассеяния в ошибку при определении импульсов  $e^+$  и  $e^-$ ; б) центральная область камер должна быть нечувствительной, чтобы интенсивный пучок заряженных частиц, проходящих по оси установки не регистрировался камерой и не оказывал влияния на её работу; в) в камерах достаточно регистрировать только по

одной частице слева и справа от оси канала; г) камеры должны позволить производить быстрый отбор событий по геометрическим критериям с точностью  $\sim 1 \text{ см}$ .

В качестве прототипа настоящих камер была взята двухкоординатная дрейфовая камера размером  $1,6 \times 0,8 \text{ м}^2$ , конструкция и технология изготовления которой позволяли удовлетворить перечисленным выше требованиям. Был учтен опыт, полученный при изготовлении и стендовых испытаниях прототипа. Всего было изготовлено 20 плоскостей ДК с общим числом каналов съема информации 4160. В настоящее время в экспериментальной установке используются 12 плоскостей ДК, содержащих 2496 каналов.

Конструкция одного пакета из четырех плоскостей ДК (две X- и две Y- плоскости), изображенная на рис.9, аналогична конструкции прототипа (рис.7). ДК имеют следующие геометрические параметры: размер чувствительной области  $\sim 3 \times 0,8 \text{ м}^2$ ,  $s_a = 10 \text{ мм}$ ,  $d_a = 50 \text{ мкм}$ ,  $s_k = 2 \text{ мм}$ ,  $d_k = 100 \text{ мкм}$ ,  $L = 8 \text{ мм}$ . Electroды намотаны проволокой из бериллиевой бронзы с натяжением 100 Г.

Рис.9. Конструкция пакета камер.



При изготовлении ДК, по сравнению с прототипом были сделаны изменения в технологии, значительно упростившие некоторые трудоемкие операции.

Центральная область камеры сделана нечувствительной. Для этого проволоки всех катодных плоскостей намотаны параллельно короткой стороне пакета, а печатные электроды на рамках этих плоскостей сделаны не сплошными, а в виде отдельных ламелей шириной 10 мм с выводами наружу. Это позволяет оперативно, не разбирая пакет, изменять размер нечувствительной области, подавая на соответствующую часть катодных проволок пониженное, по сравнению с рабочим, напряжение.

Анодные Y- плоскости имеют особенности. Во первых, посередине Y- плоскости натянута тонкая разделительная полоска (9 на рис.9) с ламелями, на которые распяны анодные проволоки таким образом, что каждая Y- плоскость оказывается разбитой на две отдельные полуплоскости.

1. Обнаружен новый высокоточный режим работы проволочной камеры.
2. Исследованы основные характеристики этого режима.
3. Показана практическая ценность высокоточного режима, в частности, возможность его применения в интенсивных потоках частиц.
4. Исследовано влияние состава газовой смеси на характеристики режима.
5. Разработаны конструкция и технология изготовления камер большого размера с малым количеством вещества на пути частиц, не требующие точного изготовления деталей, сложного специального оборудования и дефицитных материалов.
6. Получены и экспериментально проверены формулы для расчета допустимых неточностей и необходимого натяжения проволочных электродов в камере.
7. Создана система из 20 плоскостей дрейфовых камер размером  $3 \times 0,8 \text{ м}^2$ , работающих в самогасящемся стримерном режиме.
8. Исследованы характеристики системы камер, получена координатная точность  $\sigma \approx 0,2 \text{ мм}$  и эффективность камер  $\epsilon \approx 99\%$  в условиях высокой радиационной загрузки ( $2 \cdot 10^6 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ).
9. Обеспечена работа системы камер в эксперименте по исследованию релятивистских позитрониев на протонном синхротроне ИФВЭ.

Материалы диссертации опубликованы в работах:

1. Alekseev G.D., Kalinina N.A., Karpukhin V.V., Khazins D.M. and Kruglov V.V. On a high-current mode of wire-chamber performance. NIM, 1978, v. 153, p. 157.
2. Алексеев Г.Д., Калинина Н.А., Карпукhin В.В., Круглов В.В., Хазинс Д.М. Высокоточный режим работы проволочной камеры. В кн: III Международное совещание по пропорциональным и дрейфовым камерам. ОИЯИ, Д13-11807, Дубна, 1978, с.52.
3. Alekseev G.D., Kalinina N.A., Karpukhin V.V., Khazins D.M. and Kruglov V.V. Investigation of self-quenching streamer discharge in a wire chamber. NIM, 1980, v. 177, p. 385.
4. Алексеев Г.Д., Гогин А.А., Калинина Н.А., Карпукhin В.В., Круглов В.В., Хазинс Д.М. О влиянии газовой смеси на характеристики СГС режима работы проволочной камеры. ОИЯИ, Д13-80-454, Дубна, 1980.
5. Алексеев Г.Д., Калинина Н.А., Круглов В.В., Хазинс Д.М. О точности пространственного расположения и натяжении проволочных электродов в пропорциональных камерах. ПТЭ, 1978, №4, с.47.

По условиям эксперимента в каждой полуплоскости требуется регистрировать только одну частицу в событии, что позволило применить простую одночастичную регистрирующую электронику. Во вторых, проволоки двух  $Y$  - плоскостей в пакете сдвинуты друг относительно друга на  $1/2 S_a$ , чтобы уменьшить влияние лево - правой неоднозначности, возникающей в дрейфовых камерах, на точность восстановления треков.

Как видно из рисунка 8 система камер образует два телескопа, каждый из которых состоит из 6  $X$  и 6  $Y$  - полуплоскостей. К каждой из них подключена аппаратура считывания информации, регистрирующая одну частицу в событии. Номера сработавших проволок кодируются сразу после усилителей - формирователей, а время дрейфа записывается одно для каждой полуплоскости. Информация с камер поступает в специализированное арифметическое устройство, производящее быстрый отбор событий по геометрическим критериям. Для проверки электронной аппаратуры ДК используется система контроля, которая автоматически находит неисправные каналы, определяет разброс задержек и величину порогов регистрирующих каналов.

Применение в настоящих камерах СГС режима позволило существенно упростить конструкцию усилителей - формирователей ( $I_{\text{порог}} = 100 \text{ мкА}$ ,  $R_{\text{вх}} = 300 \text{ Ом}$ ) и решить проблему внешних наводок на каналы регистрации.

ДК работают при постоянном пропуске газовой смеси из аргона, метана, метилала и этилового спирта в соотношении 60:20:16:4. Пример счетных характеристик (эффективность  $\epsilon$  и шумов  $n_{\text{ш}}$ ), измеренных в условиях эксперимента, приведен на рис.10. Интенсивность облучения составляла при этом  $\sim 2 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2}$ . (В приведенную эффективность не введена поправка на случайные срабатывания мониторметрического счетчика.)

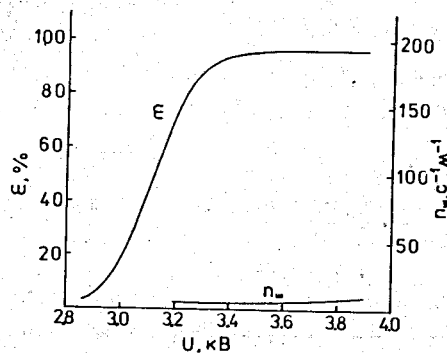


Рис.10. Зависимость  $\epsilon$  и шумов  $n_{\text{ш}}$  от напряжения питания камеры.

Определение дрейфовой функции и геометрических констант системы ДК производилось с использованием информации о треках частиц, записанной в эксперименте. Была получена точность камер  $\sigma \approx 0,2 \text{ мм}$ .

6. Алексеев Г.Д., Ганичев В.И., Карпухин В.В., Круглов В.В., Путачевич В.П., Хазинс Д.М. Двухкоординатная дрейфовая камера размером  $1,6 \times 0,8 \text{ м}^2$ . ПТЭ, 1978, №5, с.50.
7. Алексеев Г.Д., Калинина Н.А., Карпухин В.В., Круглов В.В., Хазинс Д.М., Влияние радиационной загрузки на работу пропорциональной камеры. ПТЭ, 1980, №4, с.45.
8. Алексеев Г.Д., Ганичев В.И., Карпухин В.В., Круглов В.В., Хазинс Д.М. Создание дрейфовых камер размером  $3 \times 0,8 \text{ м}^2$  в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. В кн: III Международное совещание по пропорциональным и дрейфовым камерам. ОИЯИ, Д13-11807, Дубна, 1978, с.60.
9. Алексеев Г.Д., Ганичев В.И., Карпухин В.В., Круглов В.В., Неменов Л.Л., Хазинс Д.М., Чвыров А.С. Система трехметровых дрейфовых камер, работающих в СТС режиме. ОИЯИ, Р13-82-901, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел  
II августа 1983 года.