

X-152



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

УДК 539.1.074.23.

13-85-441

**ХАЗИНС**

**Давид Михайлович**

**ОБНАРУЖЕНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ  
САМОГАСЯЩЕГОСЯ СТРИМЕРНОГО РАЗРЯДА  
В ПРОВОЛОЧНЫХ ДЕТЕКТОРАХ ЧАСТИЦ**

**Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика**

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

**Дубна 1985**

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор  
доктор физико-математических наук, профессор  
доктор физико-математических наук, профессор

Т.Л.АСАТИАНИ,  
Б.А.ДОЛГОШЕИН,  
А.А.ТЯПКИН.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт физики высоких энергий (г.Серпухов).

Автореферат разослан " " \_\_\_\_\_ 1985 г.

Защита диссертации состоится " " \_\_\_\_\_ 1985 г.  
в \_\_\_\_\_ часов на заседании специализированного Совета Д-047.01.03.  
при Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь  
специализированного Совета  
доктор физико-математических наук

Ю.А.БАТУСОВ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Проволочные газоразрядные детекторы сыграли и продолжают играть большую роль в ядерной физике, физике элементарных частиц и смежных о ними областях науки и техники. Постоянное развитие этой методики расширяет возможности физического эксперимента. Данная диссертация посвящена созданию нового класса газоразрядных приборов – самогасящимся стримерным (СГС) детекторам. Актуальность этой проблемы подтверждается тем, что за короткое время после появления первых публикаций по СГС-режиму работы проволочных детекторов, он получил широкое распространение в практике физического эксперимента.

Первоначальной целью работы было создание больших проволочных камер для исследований по физике релятивистских позитрониев. Однако методические исследования привели нас к пониманию того, что существует принципиально новый, практически важный режим работы проволочных детекторов. Отсюда новая цель – изучение этого режима.

Научная новизна и практическая ценность. До начала наших исследований СГС-режим известен не был. В литературе существовали только разрозненные сообщения о наблюдении в некоторых случаях anomalно больших сигналов в пропорциональных детекторах. Первое систематическое исследование режима больших сигналов было выполнено в 1975 году группой Ж.Шарпака<sup>ж1)</sup>. Однако ошибочная интерпретация этого режима (он был назван квазигейгеровским) и заниженная на порядок величины оценка загрузочной способности детектора в этом режиме заставляла авторов скорее опасаться режима больших сигналов, чем рекомендовать его для использования.

В работах, составляющих основу данной диссертации, были показаны высокие эксплуатационные качества нового сильноточного режима и впервые указано на принципиальную новизну этого режима. Получено первое и исчерпывающее доказательство стримерной природы нового режима. Проведены широкие исследования СГС-режима. Доказана возможность работы СГС-камер в интенсивных радиационных полях.

ж1) Brehin S. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1975, 123, p. 225.



В диссертации разработаны методика расчета, новые конструктивные принципы и технология создания больших проволочных камер с малым количеством вещества на пути частиц. На этой основе созданы первые в мире действующие СГС-камеры и построены крупнейшие в СССР дрейфовые камеры, работающие в этом режиме.

Апробация работы. Исследования, приведенные в диссертации, были многократно повторены и подтверждены в лабораториях крупнейших физических центров за рубежом и в СССР.

Работоспособность дрейфовых СГС-камер, описанных в диссертации, подтверждается экспериментальными результатами, полученными с их помощью. Именно, обнаружен редкий тип распада  $\Pi^0$ -мезона с образованием атома позитрония, относительная вероятность которого составляет  $1,7 \cdot 10^{-9}$ . Осуществлено наблюдение и исследование обратного электророжения пионов на ядрах углерода и лития.

Работы, вошедшие в диссертацию, докладывались на научных семинарах Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, на III международном совещании по пропорциональным и дрейфовым камерам (Дубна, 1978 г.), на семинарах Отделения ядерной физики АН СССР (Москва, 1978 и 1980 гг.), на конференции по проволочным камерам (Вена, 1980 г.), представлены на Рочестерские конференции (Париж, 1982 г. и Лейпциг, 1984 г.).

Публикации. Результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы в 16 работах.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав и заключения; она содержит 167 страниц, включая 58 рисунков, 4 таблицы и библиографический список из 115 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается общая характеристика работы и анализируется место СГС-детекторов среди других газоразрядных детекторов частиц.

Существует огромное многообразие газоразрядных детекторов, отличающихся по принципу действия, конструкции и назначению. С точки зрения механизма газового усиления они могут быть разделены на небольшое количество классов (рис. I).

1) Ионизационные детекторы, в которых газового усиления не происходит.

2) Электрولюминесцентные детекторы, в которых первичные электроны, образовавшиеся в результате ионизации газа энергичной заряженной частицей, разгоняются в электрическом поле до такой степени,

что многократно возбуждает атомы газа. Таким образом происходит усиление световой вспышки от частицы.

3) Пропорциональные детекторы, в которых электрическое поле достаточно велико, чтобы образовывались электронные лавины за счет ионизации электронным ударом.

4) Гейгеровские детекторы, в которых электронная лавина благодаря фотонному механизму вызывает развитие разряда вдоль анодной проволоки.

5) Искровые и стримерные детекторы, в которых поле в объеме так велико, что электронные лавины, не достигнув анода, превращаются в стримеры, которые либо достигают электродов (искровые детекторы), либо обрываются за счет резкого снятия напряжения (стримерная камера).

Данная диссертация посвящена новому классу приборов — самогасящимся стримерным детекторам. В этих детекторах электронная лавина, образуемая вблизи анодной проволоки от первичного электрона, преобразуется в катодонаправленный стример. Причем его развитие не завершается искровым пробоем, а самопроизвольно прекращается весьма стабильным образом.

Сочетание большой амплитуды сигнала и высокой нагрузочной способности, возможность работы с толстой анодной проволокой, стабильность и некоторые другие свойства СГС-режима делают его привлекательным для практического использования.

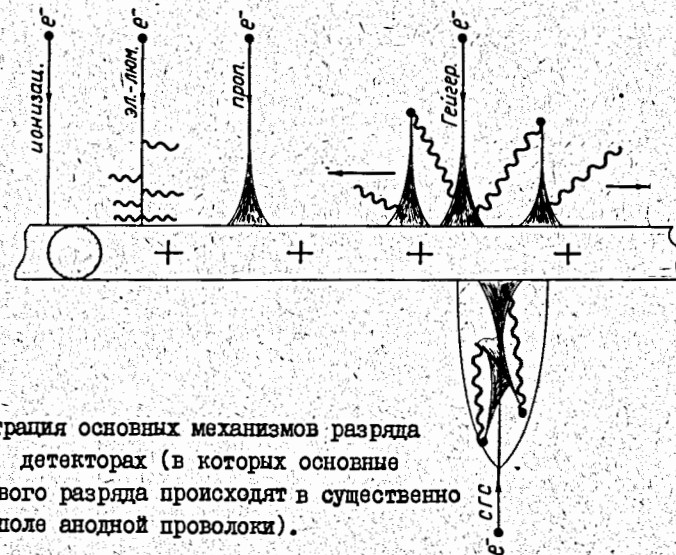


Рис. I. Иллюстрация основных механизмов разряда в проволочных детекторах (в которых основные процессы газового разряда происходят в существенно неоднородном поле анодной проволоки).

В первой главе описываются исследования, приведшие к обнаружению нового режима работы проволочных детекторов и к выяснению механизма газового разряда, ответственного за этот режим.

Наша работа в этом направлении началась после публикации статьи [1], в которой утверждалось, что в камерах с толстой анодной проволокой может быть осуществлен квазигейгеровский режим работы. Этот режим казался весьма привлекательным для больших камер, хотя и не все его характеристики нас устраивали. Недостаточно высокой была загрузочная способность и очень узким был диапазон рабочих напряжений камеры. Мы принялись за исследования этого режима и довольно легко удалось наблюдать явление, описанное в [1], а именно, при повышении напряжения на камере на экране осциллографа наряду с импульсами, характерными для пропорционального режима, появились импульсы с амплитудой, на порядок более высокой, имеющие малую длительность, небольшой амплитудный разброс и треугольную форму. (Схема электродов камеры, которая использовалась здесь и почти во всех остальных работах данной диссертации, приведена на рис.2).

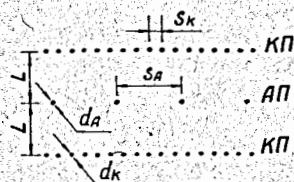


Рис.2. Схема электродов камеры. АП—анодная, КП—катодная плоскости.  $L = 8$  мм,  $d_A = 10$  мм,  $d_K = 2$  мм,  $d_A = 0,05$  мм,  $d_K = 0,1$  мм.

Однако первая попытка определить загрузочную способность камеры в режиме больших сигналов оказалась неудачной. Причина состояла в том, что падение эффективности при увеличении загрузки камеры вызывается как блокировкой участка проволоки, на которой произошел разряд, так и общим объемным зарядом, накапливающимся в камере. Для разделения этих двух эффектов было выполнено специальное исследование [1]. На рис.3 показано влияние радиационной загрузки на счетные характеристики камеры.

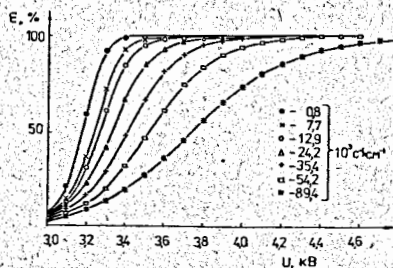


Рис.3. Семейство счетных характеристик для различной плотности радиационной загрузки при пороге регистрации 4 мкА.

Наборы подобных кривых были получены при разных порогах регистрации. Они хорошо описываются расчетами, учитывающими влияние объемного заряда в камере. Из рис.3 следует, что влияние объемного заряда можно устранить, если повысить напряжение питания камеры. Но для этого нужно иметь достаточно широкое плато счетной характеристики. Мы попытались расширить рабочую область камеры за счет изменения газовой смеси. И оказалось, что ширина плато в режиме больших сигналов почти линейно зависит от количества метилала в газовой смеси. Результаты исследований сильноточного режима [2] с повышенной концентрацией метилала (использовалась смесь аргона, метана и метилала в соотношении 50:33:17 при атмосферном давлении) изложены ниже.

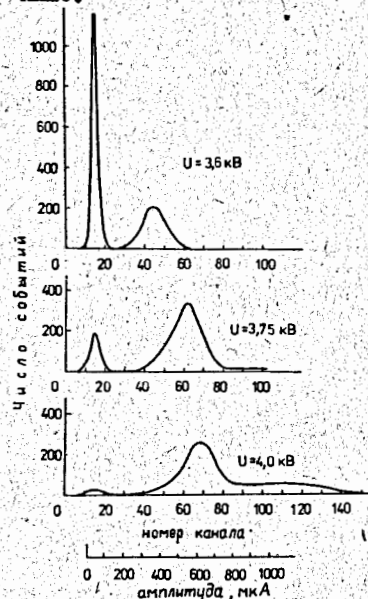


Рис.4. Амплитудные распределения.

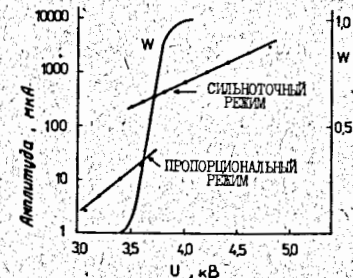


Рис.5. Зависимость средней амплитуды сигнала от напряжения питания камеры. W — доля сильноточных импульсов.

На рис.4 показаны распределения амплитуд импульсов в той области напряжений питания камеры, где одновременно наблюдаются два сорта импульсов. Один из них принадлежит пропорциональному режиму, второй — сильноточному. По мере увеличения напряжения всё большая часть импульсов переходит в правую часть спектра, пока все 100% их не окажутся в сильноточном режиме (рис.5). Длительность импульса в этом режиме  $\approx 40$  нс на полувысоте и не меняется с ростом напряжения на камере. Длительность фронта  $\approx 10$  нс.

На рис.6 показаны счетные характеристики в сильноточном режиме. Видно, что камера имеет широкую рабочую область по напряжению, кото-



рая ограничивается сверху ростом уровня шумов и искровыми пробоями (при  $U = 5$  кВ).

Загрузочная способность камеры определялась по снижению эффективности в области плато счетной характеристики при увеличении загрузки  $\beta$  - частицами (кривые  $E$  и  $E'$ ). Измерения, выполненные при разной ширине коллиматора, ограничивающего облучаемый участок анодной проволоки, и при разной интенсивности потока  $\beta$  - частиц,

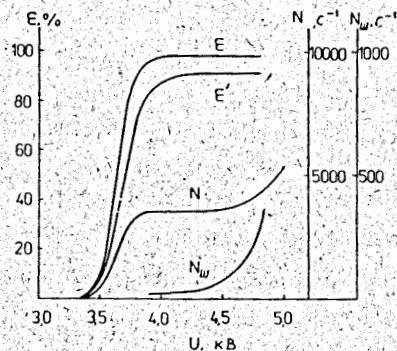


Рис.6. Счетные характеристики при пороге регистрации 125 мкА. Здесь  $E$  — эффективность,  $N$  — скорость счета на выходе усилителя,  $N_w$  — шум. Кривые  $E$  и  $E'$  получены при различной плотности загрузки сигнальной проволоки  $\beta = 640$  с<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup> и  $\beta = 1900$  с<sup>-1</sup> см<sup>-1</sup>.

показали, что просчеты являются функцией плотности потока частиц и при малых нагрузках описываются формулой:  $\Delta E = \xi \cdot \beta \cdot l$ , где  $\Delta E$  — падение эффективности на участке сигнальной проволоки длиной  $l$ ,  $\beta$  — число частиц, приходящихся на этот участок за единицу времени. Коэффициент  $\xi$  имеет размерность произведения времени на длину и может быть интерпретирован как "мертвая зона" на анодной проволоке, которую создает один импульс. Величина мертвой зоны оказалась в нашем случае  $\xi \approx 30$  мкс·см, что на порядок величины меньше оценки, которую можно получить из [1] ( $\xi \sim 300$  мкс·см).

Из кривой  $E'$  видно, что с ростом напряжения питания в области плато нагрузочная способность не ухудшается, несмотря на довольно резкий рост амплитуды импульсов. Предельная скорость счета, которая может быть получена в сильноточном режиме, есть  $m = U/\beta$ . При длине анодной проволоки  $l = 1$  м получаем  $m = 3,3 \cdot 10^6$  с<sup>-1</sup>, что при равномерной нагрузке сравнимо с нагрузочной способностью камеры в пропорциональном режиме.

В работе [2] был исследован и ресурс работы камеры в сильноточном режиме. Она сохраняла работоспособность, пока поток облучения не превысил  $7 \cdot 10^9$  частиц на 1 см длины анодной проволоки.

Полученные в [2] характеристики показывают, что сильноточный режим представляет большой интерес для практики. Вместе с тем эти же данные привели нас к выводу, что наблюдавшийся режим не может

быть объяснен известными в то время механизмами разряда в проволочных детекторах, в том числе и предположением о квазигейгеровском механизме. Мы предположили, что основой сильноточного режима является механизм самогасящегося стримерного разряда, который наблюдался в лаборатории Лёба в конце 30-х годов в коронном разряде острия [2]. Для проверки этой гипотезы был сфотографирован разряд в камере при различных режимах ее работы [3] (рис.7).

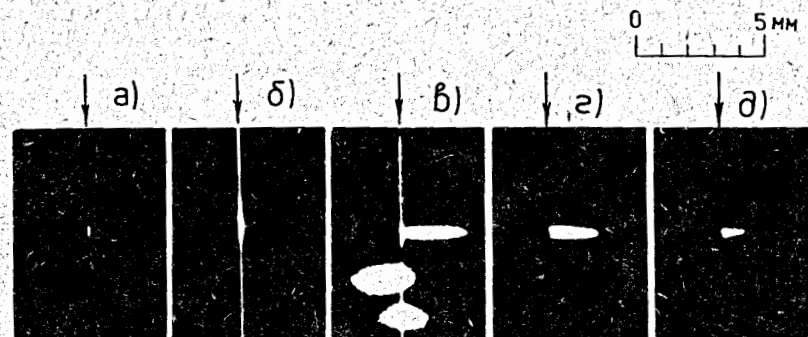


Рис.7. Фотографии разряда в пропорциональном (а), гейгеровском (б), переходном (в) и сильноточном (г, д) режимах. Стрелками показано положение анодной проволоки.

Распределение светимости, которое наблюдается на фотографиях 7г и 7д, хорошо объясняется суммарным излучением катодонаправленных стримеров. Стримеры развиваются из первоначальной лавины, распространяясь радиально от анодной проволоки вдоль силовых линий электрического поля, и прекращают свое развитие в области слабого поля. Из фотографий можно сделать вывод, что разброс стримеров по длине не слишком велик. Все стримеры направлены в одну сторону — ту, с которой приходят дрейфующие первичные электроны. Это свидетельствует о том, что "память" об азимутальном положении первичных электронов сохраняется на всех стадиях развития разряда.

Фотографии 7г, д позволяют однозначно установить стримерную природу сильноточного режима. В дальнейшем он будет именоваться самогасящимся стримерным (СГС) режимом.

В первой главе описываются также исследования, выполненные в других лабораториях, которые также привели к идее о стримерном механизме разряда в проволочных детекторах, и обосновывается вывод

[2] Лёб Л. — Основные процессы электрических разрядов в газах. Гостехиздат, 1950; Kip A.F. — Phys.Rev., 1938, 54, p. 139; Trichel G.W. — Phys.Rev. 1939, 55, p. 382; Kip A.F. — Phys.Rev., 1939, 55, p. 549.

о единой природе anomalно больших сигналов, полученных в разных условиях, в том числе и в "магическом газе".

Во второй главе подробно обсуждаются характеристики СГС-режима /4,5/, которые были упомянуты выше. Особо следует отметить исследование структуры мертвой зоны, которые подтвердили высокую загрузочную способность СГС-детекторов. На рис.8 показана динамика изменения длины участка нечувствительности проволоки  $\delta$  после прохождения частицы. Было исследовано и влияние ионизирующей способности частиц на характеристики СГС-детекторов (рис.9).

Рис.8. Зависимость длины "мертвого" участка проволоки от времени.

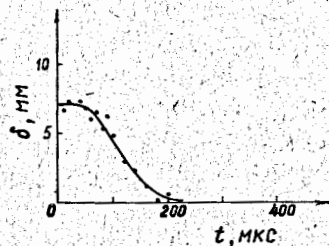
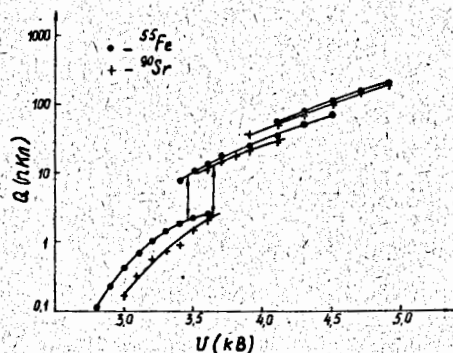


Рис.9. Сравнение зарядовых характеристик, полученных для рентгеновских фотонов с энергией 5,9 кэВ ( $^{55}\text{Fe}$ ) и для проходящих  $\beta$ -частиц ( $^{90}\text{Sr}$ ), которые отличаются по энерговыделению в 2 раза. Стрелки указывают напряжения, при которых половина сигналов принадлежит СГС-режиму.



В третьей главе описаны результаты многочисленных измерений влияния количественного и качественного состава газа, его давления, диаметра анодной проволоки и других параметров детектора на характеристики СГС-режима /5+7/. Некоторые из них приведены на рис.10+13.

Главный вывод этой главы состоит в том, что СГС-разряд не уникальное явление. СГС-режим может быть получен в детекторах различной конструкции и с различным газовым составом. Предпочтительными являются детекторы с толстой анодной проволокой ( $d_A \geq 50$  мкм), большим давлением газа ( $P \geq 1$  атм) и большим содержанием органических газов.

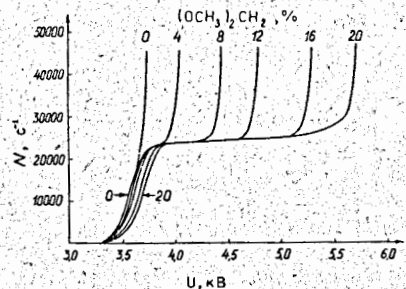


Рис.11. Влияние метана (а) и метилала (б) на длительность импульса  $\tau$  и величину мертвой зоны  $\xi$ .

а) Концентрация метилала - 17%,  
б) Доля метана в аргон-метановой смеси - 40%.

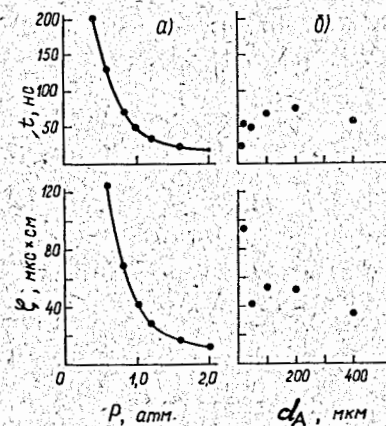


Рис.13. Счетные характеристики камеры при разных давлениях рабочего газа (а) и диаметрах анодной проволоки (б). Толстой линией представлены графики эффективности ( $\mathcal{E}$ ), тонкой - скорости одиночного счета камеры ( $\nu$ ), приведенной к единице длины анодной проволоки.

Рис.10. Счетные характеристики камеры при различной концентрации метилала. Доля метана в аргон-метановой смеси постоянна и составляет 40%.

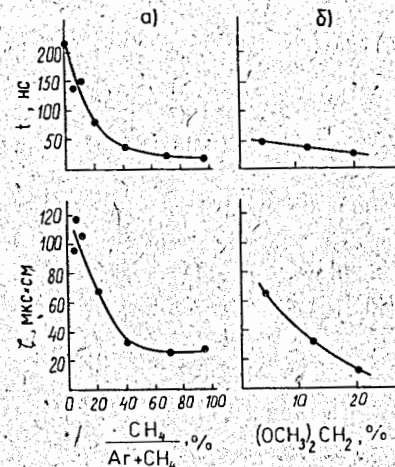
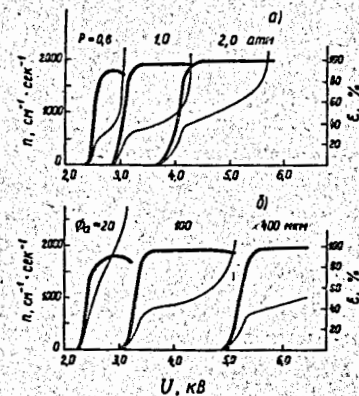


Рис.12. Влияние давления (а) и диаметра анодной проволоки (б) на длительность импульса  $\tau$  и величину мертвой зоны  $\xi$ .  
а)  $d_A = 50$  мкм; б)  $P = 1$  атм.





Четвертая глава посвящена механизму СГС-разряда. Качественная картина развития СГС-разряда основана на классических представлениях стримерной теории и может быть представлена следующим образом<sup>8/</sup>. Первичные электроны, двигаясь к анодной проволоке, попадают в область сильного электрического поля и дают начало таунсендовской лавине. В процессе развития этой первичной лавины испускаются фотоны, способные ионизовать молекулы газа. Если к моменту интенсивного образования фотоэлектронов электрическое поле, создаваемое положительными ионами, оставшимися от первичной лавины, близко по величине к внешнему полю, то преимущественно будут развиваться те лавины, которые образовались вблизи оси первичной лавины. Это связано с тем, что суперпозиция электрических полей в данном случае дает поле существенно более сильное на оси лавины, чем с боков от нее. Вторичные лавины будут вливаться в первичную и формировать стример.

Можно сформулировать три условия, выполнение которых необходимо для образования стримера: I - общее количество электронов во вторичной лавине должно быть не меньше, чем в первичной; II - электрическое поле первичной лавины должно быть сравнимо с внешним полем анодной проволоки; III - длина пробега фотонов должна быть меньше или порядка размера лавины, чтобы фотоионизация происходила в области действия поля данной лавины.

Условие I является необходимым для любого самоподдерживающегося разряда, а условия II и III должны быть выполнены, чтобы разряд развивался в виде стримера. Если же хотя бы одно из условий II или III не выполнено, то первичная лавина будет слабо влиять на развитие новых лавин. В этом случае вторичные лавины будут развиваться фактически в поле анодной проволоки, в стороне от первичной лавины. То есть разряд будет развиваться вдоль анодной проволоки и будет формироваться гейгеровский импульс. Условия II и III хорошо выполняются, если в газе имеется большое количество гасящих добавок. Действительно, при малых количествах добавок проволочный детектор при повышении напряжения переходит в режим Гейгера-Мюллера, а при больших - в СГС-режим.

Стример формируется в электрическом поле, которое есть суперпозиция поля анодной проволоки и его собственного. Однако очень скоро он попадает в область слабого внешнего поля и его дальнейшее развитие определяется только собственным полем. Наиболее естественная модель стримера на этой стадии - модель проводящей квазиметаллической нити.

Остановка отримера происходит на большом расстоянии от анодной проволоки, где напряженность электрического поля падает на два порядка величины. Следовательно, остановка происходит по внутренним

причинам, которые должны были бы быть подвержены сильным флуктуациям. Тем не менее, остановка происходит весьма стабильным образом, что выражается в малом амплитудном разбросе сигналов, слабой зависимости длины стримера от напряжения питания и др. Это свойство стабильности чрезвычайно важно с практической точки зрения. Однако его природа остается непонятной. В диссертации указываются также и некоторые другие свойства СГС-режима, которые непонятны, или даже входят в противоречие с представленной выше картиной.

Вместе с тем для некоторых неожиданных свойств СГС-режима удалось найти объяснение. Так получено объяснение скачкообразного перехода от пропорционального к СГС-режиму. Оно основано на статистической природе механизма фотоионизации и построено по аналогии с моделью перехода галогенных счетчиков в гейгеровский режим<sup>ж3)</sup>. Скачкообразное повышение амплитуды сигнала при повышении напряжения в СГС-режиме объясняется многостримерным механизмом разряда. Каждый скачок соответствует увеличению числа одновременно развивающихся стримеров на единицу.

В диссертации подробно исследована связь СГС-режима с режимом Гейгера-Мюллера<sup>8,9/</sup> и указано место СГС-режима среди других режимов работы проволочных детекторов (рис.14).

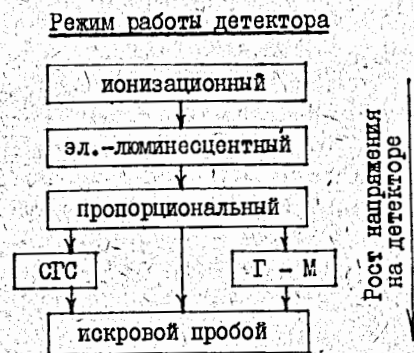


Рис.14. Схема различных режимов работы проволочного детектора.

Пятая глава посвящена созданию дрейфовых камер. Главная их особенность состоит в том, что они работают в СГС-режиме. Кроме того, они отличаются тем, что при больших размерах (до трех метров) содержат малое количество вещества на пути частиц -  $(10 + 15)$  мг/см<sup>2</sup> на

ж3) Вишняков В.В., Тан Сю-вей, Тяпкин А.А. - УФН, 1960, 72, с.133.

одну камеру. Это сочетание наложило существенный отпечаток на их конструкцию, которая заметно отличается от традиционной. Технология изготовления этих камер не требует дефицитных материалов и может быть налажена в лабораторных условиях.

Создано две системы дрейфовых камер, использующихся для изучения обратного электророждения пионов и для исследования релятивистских позитрониев. Первая из этих систем состоит из 18 камер с чувствительной поверхностью  $48 \times 48 \text{ см}^2$  и содержит 864 канала съема информации. Вторая - из 12 камер размером  $3 \times 0,8 \text{ м}^2$  и содержит 2496 каналов съема информации.

В предварительных разделах пятой главы рассматриваются методические вопросы, возникшие при разработке данных камер. Существенное значение при конструировании больших проволочных камер имеет точное знание допусков на изготовление электродов и величин необходимого натяжения проволоки. С этой целью в диссертации получены формулы для расчета электростатических полей в камерах с произвольным шагом намотки анодных проволок<sup>10/</sup>, а также для случая, когда анодные проволоки чередуются с потенциальными. На этой основе выведены формулы для расчета допустимого разброса толщины анодной проволоки ( $\Delta d_A/d_A = 0,08$ ), шага намотки анодной проволоки ( $\Delta s_A = 0,4 \text{ мм}$ ), зазора катод - катод ( $\Delta(z) = \pm 0,25 \text{ мм}$ ), положения отдельных анодных проволок ( $\Delta x_{np} = \pm 1,1 \text{ мм}$ ,  $\Delta y_{np} = \pm 1,5 \text{ мм}$ ). (Цифры в скобках приведены для камеры с параметрами, указанными в подписи к рис.2).

Величина необходимого натяжения проволочных электродов вычислена с учетом погрешностей в их расположении. Показано, что учет этого неизбежного обстоятельства приводит к увеличению необходимого натяжения анодных проволок более чем в два раза, независимо от величины погрешности. Правильность расчетов подтверждена экспериментальными исследованиями.

В диссертации подробно разбираются преимущества и недостатки многопроволочных камер с различным шагом намотки анодных проволок и обосновывается выбор схемы расположения электродов, показанной на рис.2, с шагом намотки анодных проволок  $s_A = 10 \text{ мм}^{11/}$ .

Конструкция и технология изготовления больших камер отработаны на макете дрейфовой камеры размером  $1,6 \times 0,8 \text{ м}^2$ <sup>12/</sup>.

Система полуметровых дрейфовых камер<sup>13,14/</sup> состоит из трех пакетов, по 6 камер в каждом. Сечение пакета показано на рис.15а. Он состоит из 15 дюралюминевых рамок (1) с габаритными размерами  $700 \times 700 \text{ мм}^2$  и толщиной 4 мм, к которым приклеены стеклотекстолитовые платы с печатными электродами (2), закреплены дюралюминевые шайбы (3) и лавсановые окна (Л). Обратная сторона рамок заклеена тонким (0,1 мм) стеклотекстолитом для предотвращения электрических

пробоев с высоковольтных электродов на рамки и для лучшей герметизации внутреннего объема камеры. С внутренних сторон стеклотекстолитовых плат закреплены калиброванные плексигласовые бруски (4) для задания межэлектродного зазора с необходимой точностью. Для надежного сжатия пакета в области брусков (4) средняя толщина рамок в области шайб (3) сделана на  $\sim 0,2 \text{ мм}$  меньше, чем в области брусков. С наружной стороны анодных плат закреплены платы с электроникой (5). Для герметизации используется шнур из вакуумной резины (6). Рамки стягиваются 16 болтами (7), расположенными с шагом 160 мм. В собранном виде пакет имеет большую жесткость и монтируется на экспериментальную установку как единое целое. Все катодные плоскости (К) намотаны в одном направлении, анодные - во взаимоперпендикулярных. Расположение электродов соответствует рис.2.

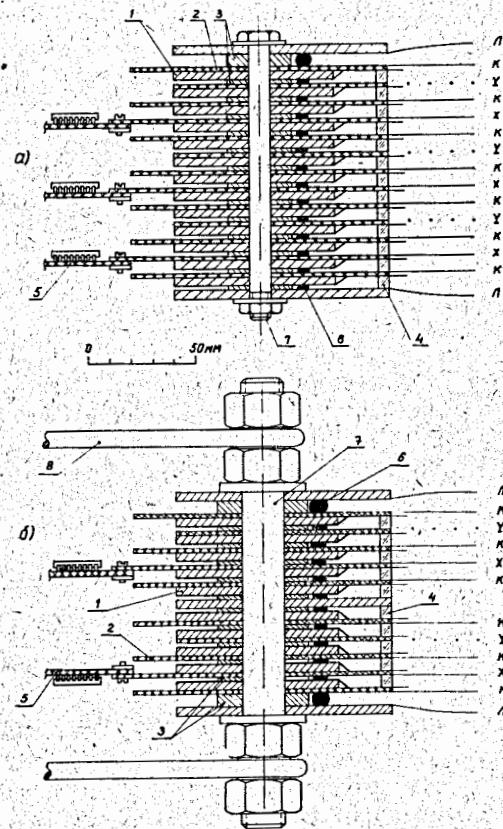


Рис.15. Схема пакетов дрейфовых полуметровых (а) и трехметровых (б) камер.



Конструкция трехметровых камер /15,16/ существенно отличается от вышеизложенной. Дело в том, что при увеличении размеров камеры жесткость отдельных рамок становится недостаточной для поддержания проволок в натянутом состоянии. Этот недостаток можно скомпенсировать дополнительными внешними рамами. Однако их необходимо изготавливать с довольно высокой точностью, что при линейных размерах в несколько метров создает серьезные технологические трудности и требует специального оборудования. Кроме того, рама имеет значительный вес, а это усложняет процесс сборки и ремонта камер.

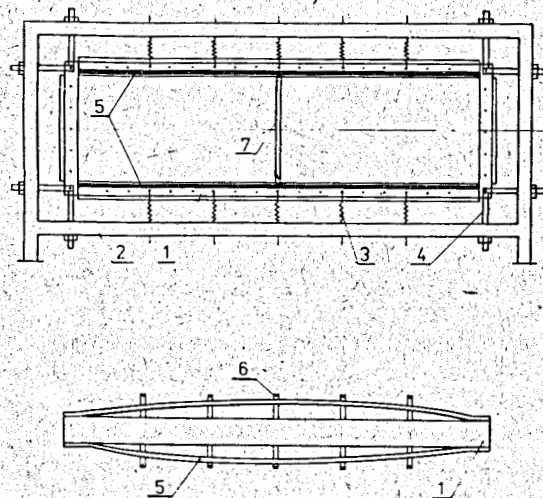


Рис.16. Конструкция трехметровых камер. 1-пакет рамок, 2-ферма, 3-пружинные тяги, 4-жесткие тяги, 5-упругий элемент, 6-упорный винт, 7-разделительная полоска.

Разработанная нами конструкция (рис.16) позволяет отказаться от точного изготовления крупногабаритных деталей. Гибкий пакет рамок (1), на которых закреплены проволочные электроды и лавсановые окна, растягивается внутри внешней фермы (2). Регулируемые тяги (3) и (4) позволяют растянуть внутренний пакет до необходимой величины при довольно большом прогибе балок фермы ( $\sim 1$  см). Тяги (3) выполнены в виде пружин, чтобы ослабить влияние деформации фермы (при транспортировке, или при изменении температуры) на натяжение проволок и упростить процедуру растяжения. Растяжение пакета контролируется по

расстоянию между осями шпилек, за которые пакет растягивается. Для этого используется простая измерительная штанга с часовым индикатором. Точность измерения составляет  $\pm 0,1$  мм, что обеспечивает точность натяжения проволок  $\pm 5\%$ . Оставшиеся после растяжения искривления пакета устраняются с помощью навесных упругих элементов (5) с отжимными винтами (6). (Допустимое отклонение от плоскости проволочных электродов в нашем случае составляет 0,4 мм).

Сечение гибкого пакета рамок подобно соответствующему сечению полуметровых камер и показано на рис. 15б. Пакет содержит 13 рамок, на четырех из которых намотаны анодные плоскости (X и Y), а на шести - катодные (K). Каждая Y-плоскость разделена на две полуплоскости с помощью полоски из стеклотекстолита толщиной 0,1 мм (поз.7 на рис.16), которая натянута посередине камеры. Центральная часть камеры ( $\pm 20$  см от полоски 7) сделана нечувствительной к частицам за счет отключения высокого напряжения с соответствующих участков катодных плоскостей.

Для намотки электродов была разработана специальная технология /12/, которая гарантирует одинаковость натяжения проволок в разных плоскостях после сборки камеры. Точность шага намотки анодных проволок  $\pm 50$  мкм.

Электронная аппаратура для обеих систем камер разработана В.В. Карпуким<sup>ж1)</sup>. Она отличается применением параллельного способа кодирования номеров сработавших проволок, что существенно сокращает объем необходимой аппаратуры, но ограничивает множественность регистрируемых событий. Благодаря применению СГС-режима порог регистрации удалось повысить до 100 мкА, что практически сняло проблему внешних наводок и заметно упростило усилители. Камеры снабжены системой контрольной электроники.

Пример счетных характеристик дрейфовых камер приведен на рис. 17. Из рисунка видно, что рабочая область камеры по напряжению питания составляет  $\approx 400$  В. Эффективность срабатывания одной камеры при длительности строб-импульса 300 нс составляет 99%. Надо отметить, что столь высокая эффективность получена при загрузке камеры  $10^6$  частиц  $\cdot$  с $^{-1}$ , которая сосредоточена в основном на площади 0,4 м $^2$ . Это является практическим подтверждением высокой загрузочной способности СГС-режима. Координатная точность данных камер составляет  $\epsilon_0 = 0,2$  мм. Точность камер зависит от угла входа частиц  $\alpha$  приблизительно как  $G(\alpha) = \epsilon_0 / \cos \alpha$ . Полученная координатная точность типична

<sup>ж1)</sup> Карпукин В.В.-ПТЭ, 1980, №2, с.88; Карпукин В.В., Круглов В.В., Кушцов А.В.-ОИЯИ, Р13-82-900, Дубна, 1982; Карпукин В.В.-ПТЭ, 1984, №4, с.80.

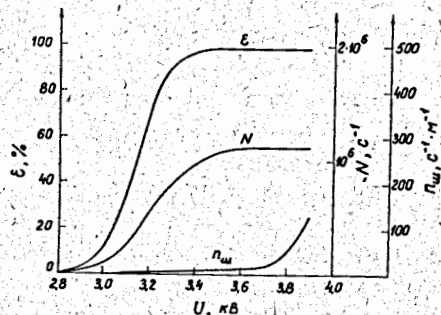


Рис.17. Счетные характеристики трехметровых камер.  $\varepsilon$  - эффективность,  $N$  - скорость одиночного счета,  $n_{ш}$  - скорость счета шумов.

для дрейфовых камер, работающих в пропорциональном режиме. Отсюда сделан вывод о том, что применение СГС-режима не ухудшает координатной точности дрейфовых камер.

Полуметровые камеры используются начиная с 1977 года, трехметровые - с 1978 года. Опыт показал достаточную надежность их работы.

В диссертации приведены также расчеты и конструкция дрейфовых СГС-камер размером  $2,5 \times 2 \text{ м}^2$ , которые создаются для экспериментов на ускорителе У-70.

В шестой главе рассматриваются прикладные возможности СГС-режима. В ней дано систематическое изложение свойств СГС-режима с практической точки зрения, которые в той или иной степени были здесь упомянуты. Приведена краткая информация об СГС-счетчиках ("limited streamer tubes"), которые получили очень широкое распространение за рубежом и, очевидно, имеют большое будущее. В этой главе обсуждаются также и перспективы СГС-режима. Отмечается, что до сих пор его широкое распространение было обусловлено только теми его особенностями, которые позволяют улучшить технологические свойства детекторов, сделать их более простыми, дешевыми и удобными в эксплуатации. Можно ожидать, что СГС-режим, механизм разряда которого столь существенно отличается от других режимов работы проволочных детекторов, позволит осуществить более принципиальные изменения свойств детекторов. В качестве примеров рассматриваются работы, в которых СГС-режим был применен для регистрации переходного излучения<sup>ж5)</sup>, черенковского излучения<sup>ж6)</sup>, в дугообразном счетчике рентгеновских фотонов с анодом в виде лезвия<sup>ж7)</sup>.

ж5) Айвазян Р.Б. и др. - В трудах III Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. Новосибирск, 1984, с.207.

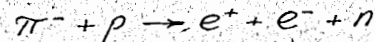
Акопджанов Г.А. и др. - там же, с. 204.

ж6) Бузулуцков А.Ф. и др. - Препринт ИФВЭ 84-108, Серпухов, 1984.

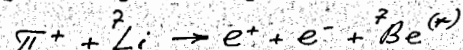
ж7) Ballou J. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1983, 217, p. 213.

В седьмой главе описаны эксперименты по физике частиц, в которых используются дрейфовые СГС-камеры, описанные в пятой главе.

Полуметровые камеры используются для изучения обратного электроорождения пионов (ОЭП). Как показал Л.Л.Неменов<sup>ж8)</sup> исследование этого процесса на нуклоне:



дает уникальную возможность определения формфакторов пиона и нуклона во времениподобной области переданных импульсов  $K^2 < 4m^2$ , где  $m$  - масса пиона или нуклона, соответственно. Многолетние исследования на синхротроне ЛЯП позволили определить поведение пионного и нуклонного формфакторов в интервале  $1,5 \Phi^{-2} < K^2 < 3 \Phi^{-2}$  с точностью  $\approx 10\%$ . Существенным элементом установки для исследования ОЭП являются координатные камеры. До 1977 года использовались широкозазорные искровые камеры с оптическим съемом информации. Замена их на дрейфовые СГС-камеры позволила устранить тяжелую процедуру обработки фотографий и повысить эффективность установки. На модернизированной установке был обнаружен процесс ОЭП на ядрах  $^{12}\text{C}$  и  $^7\text{Li}$  и выделен канал реакции, идущий без развала ядра в конечном состоянии<sup>ж9)</sup>:



(Звездочка означает, что возможны не только основное, но и возбужденные состояния остаточного ядра).

Трехметровые камеры созданы для наблюдения атомов, которые образуются при распадах и взаимодействии элементарных частиц. Это направление исследований, которое было предложено Л.Л.Неменовым в 1971 году<sup>ж10)</sup>, обещает новые способы изучения элементарных частиц. Открываются возможности получения прямой информации о взаимодействии таких частиц, которые невозможно изучать методом рассеяния друг на друге. К ним относятся системы  $(\pi^+\pi^-)$ ,  $(\pi^+\mu^-)$ ,  $(K^+\pi^-)$  и др. Интересные эффекты можно наблюдать, используя релятивистские скорости атомов, образующихся при распаде элементарных частиц.

Для осуществления этой программы была создана установка "ПОЗИТРОНИЙ", которая нацелена на исследование атомов позитрония ( $A_{2e}$ ), возникающих при распаде  $P^0$ -мезона. Это очень редкий процесс, который

ж8) Неменов Л.Л. - Автореферат докторской диссертации, ОИЯИ, I-10678, Дубна, 1977.

ж9) Алексеев Г.Д. и др. - ЯФ, 1982, 36, с. 322.

ж10) Неменов Л.Л. - ЯФ, 1972, 15, с. 1047; ЯФ, 1972, 16, с. 125; ЯФ, 1985, 41, с. 980.



характеризуется относительной вероятностью  $\sim 10^{-9}$ . Главный признак, позволяющий выделить атомы позитрония на огромном фоне электрон-позитронных пар другого происхождения, — пространственная конфигурация искомых событий. Созданные нами камеры позволяют решить поставленную задачу, причем отбраковка фона частично производится в реальном времени, до записи информации в ЭВМ. В результате измерений было выделено  $185 \pm 30$  атомов позитрония. Отсюда была определена относительная вероятность распада

$$\frac{W(\pi^0 \rightarrow \gamma + Aze)}{W(\pi^0 \rightarrow 2\gamma)} = (1 \pm 2) \cdot 10^{-9}$$

В диссертации обсуждаются также некоторые перспективы исследований на созданной установке адронных атомов и корреляционных явлений.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Проведены исследования сильноточного режима работы проволочной камеры и впервые сделан вывод о принципиальной новизне наблюдавшегося режима.
2. Показана практическая ценность нового режима, который позволяет существенно повысить помехозащищенность проволочных детекторов, упростить регистрирующую электронную аппаратуру и конструкцию самих детекторов. При этом режим имеет стабильный характер, позволяет получить широкое плато счетной характеристики и сравнительно высокую загрузочную способность детектора.
3. Впервые получено доказательство стримерной природы сильноточного режима работы проволочных детекторов.
4. Проведены широкие исследования свойств СГС-режима и влияния на него состава рабочего газа, его давления и геометрических параметров детектора. Найдено объяснение некоторых закономерностей СГС-разряда.
5. Подробно исследована связь СГС-режима с режимом Гейгера-Миллера и указано место СГС-режима среди других режимов работы проволочных детекторов.
6. Проведен детальный анализ загрузочной способности камер в СГС-режиме и показана возможность работы СГС-камер в интенсивных радиационных полях.
7. Разработаны конструкция и технология создания камер большого размера с малым количеством вещества на пути частиц, не требующие специального оборудования и дефицитных материалов. Обобщена и уточнена методика расчета проволочных камер.

8. Создана первая в мире действующая система дрейфовых СГС-камер, состоящая из 18 камер размером  $0,5 \times 0,5 \text{ м}^2$  и содержащая 864 канала съема информации.

9. Создана крупнейшая в СССР система дрейфовых СГС-камер с малым количеством вещества на пути частиц ( $15 \text{ мг/см}^2$ ), которая состоит из 20 камер размером  $3 \times 0,8 \text{ м}^2$  и содержит 2496 каналов съема информации. Камеры имеют координатное разрешение  $\sigma = 0,2 \text{ мм}$  и эффективность  $\epsilon = 99\%$  в условиях высокой радиационной загрузки ( $2 \cdot 10^6 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ).

10. С помощью дрейфовых СГС-камер были получены следующие результаты по физике частиц:

- а) обнаружен процесс обратного электророжения пиона на ядре;
- б) обнаружен распад нейтрального пиона с образованием атома позитрония, относительная вероятность которого составляет  $1,7 \cdot 10^{-9}$ .

II. Самогасящийся стримерный режим, в обнаружение и исследование которого большой вклад внесли работы, на которых основана данная диссертация, получил широкое распространение в мировой практике. Детекторы, работающие в этом режиме, являются одним из основных элементов самых крупных установок, создающихся в настоящее время для решения принципиальных вопросов физики высоких энергий.

Материалы диссертации опубликованы в работах:

1. Алексеев Г.Д., Калинина Н.А., Карпукhin В.В., Круглов В.В., Хазинс Д.М. — Влияние радиационной загрузки на работу пропорциональной камеры. — ПТЭ, 1980, № 4, с.45.
2. 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. — Nucl.Instr.and Meth., 1978, v. 153, p. 157.
3. Alekseev G.D., Khazins D.M. and Kruglov V.V. — Self-Quenching Streamer Discharge in a Wire Chamber. — Lettere al Nuovo Cimento 1979, v. 25, No 5, p. 157.
4. Алексеев Г.Д., Калинина Н.А., Карпукhin В.В., Круглов В.В., Хазинс Д.М. — Основные характеристики самогасящегося стримерного разряда в проволочной камере. — ОИЯИ, I3-80-447, Дубна, 1980.
5. 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. — Nucl.Instr.and Meth., 1980, v. 177, p. 385.
6. Алексеев Г.Д., Тогин А.А., Калинина Н.А., Карпукhin В.В., Круглов В.В., Хазинс Д.М. — О влиянии газового наполнения на характеристики СГС режима работы проволочной камеры. ОИЯИ, I3-80-454, Дубна, 1980.

7. Алексеев Г.Д., Хазинс Д.М. - Влияние толщины анодной проволоки и давления рабочего газа на характеристики самогасящегося стримерного режима работы проволочной камеры. - ПТЭ, 1982, №2, с.33.
8. Алексеев Г.Д., Круглов В.В., Хазинс Д.М. - Самогасящийся стримерный (СГС) разряд в проволочной камере. - ЭЧАЯ, 1982, т.13, вып.3, с. 703.
9. Алексеев Г.Д., Круглов В.В., Хазинс Д.М. - К вопросу о самогасящейся стримерном и ограниченно-гейгеровском режимах работы проволочных детекторов. - ОИЯИ, Р13-84-239, Дубна, 1984.
10. 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.
11. Алексеев Г.Д., Калинина Н.А., Круглов В.В., Хазинс Д.М. - Пропорциональная камера с шагом сигнальных проволок 10 мм. - ПТЭ, 1978, №4, с.51.
12. Алексеев Г.Д., Ганичев В.И., Карпухин В.В., Круглов В.В., Пугачевич В.П., Хазинс Д.М. - Двухкоординатная дрейфовая камера размером  $1,6 \times 0,8 \text{ м}^2$ . - ПТЭ, 1978, №5, с. 50.
13. Алексеев Г.Д., Ганичев В.И., Горчаков О.Е., Калинина Н.А., Карпухин В.В., Круглов В.В., Кушцов А.В., Лучан Л., Хазинс Д.М. - Система полуметровых дрейфовых камер, работающих в самогасящемся стримерном режиме. - ОИЯИ, Р13-81-762, Дубна, 1981.
14. Алексеев Г.Д., Калинина Н.А., Хазинс Д.М. - Характеристики дрейфовых камер, работающих в самогасящемся стримерном режиме. - ОИЯИ, Р13-82-42, Дубна, 1982.
15. Алексеев Г.Д., Ганичев В.И., Карпухин В.В., Круглов В.В., Немецков Л.Л., Хазинс Д.М., Чвыров А.С. - Система трехметровых дрейфовых камер, работающих в СГС режиме. - ОИЯИ, Р13-82-901, Дубна, 1982.
16. Алексеев Г.Д., Ганичев В.И., Горчаков О.Е., Калинина Н.А., Карпухин В.В., Круглов В.В., Кушцов А.В., Лучан Л., Пугачевич В.П., Хазинс Д.М., Чвыров А.С., Шумаков М.Н. - Дрейфовые камеры в самогасящемся стримерном режиме. - ПТЭ, 1985, № 2, с. 52.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 июня 1985 года