

СЗ44.1

М-353

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

13- 3465

А.Т. Матюшин

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ  
РАЗВИТИЯ МЕТОДИКИ ИСКРОВЫХ КАМЕР  
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научные руководители: кандидат технических наук  
Ю.А. Каржавин

кандидат физико-математических наук  
М.Н. Хачатурян

Дубна 1967

13- 3465

А.Т. Матюшин

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ  
РАЗВИТИЯ МЕТОДИКИ ИСКРОВЫХ КАМЕР  
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА СИНХРОФАЗОТРОНЕ  
Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научные руководители: кандидат технических наук  
Ю.А. Каржавин

кандидат физико-математических наук  
М.Н. Хачатурян

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

4687.89

Основы методики искровых камер заложены работами Кейфеля<sup>/1/</sup>, Тяпкина<sup>/2/</sup>, Конверси с сотрудниками<sup>/3/</sup>, Крэншау и Дебира<sup>/4/</sup>, Фукуи и Миямото<sup>/5/</sup>.

Дальнейшее развитие методики в различных направлениях связано с применением в экспериментах на ускорителе, в первую очередь, многопромежутковых (многослойных) камер<sup>/6/</sup>, развитием и применением разрядных камер<sup>/7/</sup>, камер с большим промежутком<sup>/8/</sup>, созданием стримерной<sup>/9/</sup> и ряда бесфильмовых камер.

Методические исследования искровых камер в Лаборатории высоких энергий, проведенные с участием автора, были подчинены требованиям разработки аппаратуры искровых камер с целью ее использования в экспериментах по изучению взаимодействий  $\pi^+$ -мезонов с нуклонами, исследованию электромагнитных распадов бозонных резонансов, регистрации редких распадов  $K_L^0$ -мезонов.

Эффективное сечение, характерное для перечисленных процессов, равно  $10^{-32-33} \text{ см}^2$ , и регистрация одного события может произойти в среднем за несколько часов или суток непрерывной работы ускорителя с полной интенсивностью ( $10^{11}$  р/сек).

Диссертация состоит из 4 глав. Исследованиям искровых камер, опыту их применения в конкретных физических экспериментах посвящена глава 1.

В главе систематизированы результаты исследования камер, отличающихся от известных конструкцией и включением: многослойная камера с последовательным включением промежутков, камеры с большим промежутком в симметричном включении, многослойная камера с „двойными“ проволочными электродами, камера с симметричной системой внутренних проволочных электродов в

"следшем" и среднем режиме. Ниже кратко описываются полученные результаты.

В эксперименте по изучению упругого  $\pi^+$ -распада условия работы камер требуют высокой эффективности регистрации одного и двух одновременных треков. Для снижения количества фоновых треков необходимо крутой спад эффективности счетной характеристики, ограничивающий время чувствительности камеры (по условиям эксперимента) величиной порядка 500-600 нсек.

В аппаратуре искровых камер, разработанной с учетом автора для этого эксперимента, используются многослойные камеры с азором 1 и 2 см в параллельном, точнее попарно-параллельном включении разрядных промежутков. Характеристики эффективности регистрации частиц, полученные при этом, описаны в *В* 11/8/ и приближенно соответствуют известным *В* 8/8. Существенное сокращение времени чувствительности камеры в таком включении связано с уменьшением эффективности регистрации при работе, относительно большой задержке в в. им-пульса (высоковольтный импульс).

Одним из методов улучшения временных и счетных характеристик камеры с малым азором является предложение исследованным автором способ *В* 10/10/ включение промежутков многослойной искровой камеры.

На рис. 1а приведены сравнительные характеристики эффективности регистрации одной из рабочих камер с азорами 1 см в параллельном (I) и попарно-параллельном (II) включении. В последнем случае в.в. импульса подавался на две группы из 4-х последовательно включенных промежутков камеры (наполнение камеры - неон "особой чистоты").

На рис. 1б приведены сравнительные счетные и временные характеристики последовательного (I), последовательно-параллельного (II) и попарно-параллельного включения в камере. Для попарно-параллельного включения введено значение "идеализированной" эффективности  $\eta^*$ , определенной как средняя эффективность срабатывания пары при условии зажигания хотя бы одного из ее промежутков. Это позволяет ослабить влияние корреляции в срабатывании промежутков пары на результаты сравнения. В остальных случаях эффективность определена обычным способом.

Экспериментальные результаты удивительно описываются "одно-линейным" механизмом разлета разряда в камере вплоть до низковольтного следа

частицы. При этом вычисленное и экспериментальное отношения крутизны нарастания и спада эффективности в зависимости от амплитуды и задержки в.в. импульса при последовательном питании к идеализированной эффективности при параллельном находятся в близком соответствии. В рассматриваемом случае указанное отношение  $\approx 4$  при  $\eta = 0,5$ .

Принятое предположение позволяет записать отношение эффективности камеры с последовательным включением промежутков к идеализированной в попарно-параллельном в виде:

$$\eta_{\text{с}} / \eta_{\text{р}} = (1 - e^{-N X_{\text{с}}}) / (1 - e^{-X_{\text{р}}})^N, \quad (1)$$

где  $N$  - число идентичных промежутков камеры, а  $X_{\text{с}}$  и  $X_{\text{р}}$  в первом приближении равны.

Таким образом, как можно видеть, камера с последовательным включением промежутков занимает промежуточное положение между камерой с большим промежутком и многослойной камерой с малым зазором, сочетая преимущества первой (высокая эффективность регистрации, равномерность свечения трека, малая электрическая емкость) и второй (управляемое электрическим полем время памяти), отличаясь от последней высоким временным разрешением за счет более крутого спада эффективности в зависимости от задержки высоковольтного импульса.

В созданной с участием автора установке для определения эффективных масс в распадах  $x \rightarrow \gamma + \gamma$  /12/ впервые на ускорителе для решения подобного рода задачи применены искровые камеры с большим промежутком - 10 см /13/.

В указанном методе для исследования реакций  $\pi^+ + p \rightarrow x + B$ , где  $B$  - барион, а  $x$  - резонанс, распадающийся по схемам:  $x \rightarrow \gamma + \gamma$ ,  $x \rightarrow e^+ + e^-$ ,  $x \rightarrow \pi^0 + \gamma$  и т.д., используются совместно работающие черенковские спектрометры полного поглощения и искровые камеры.

Схема установки приведена на рис. 2. Установка состоит из двух одинаковых светонепроницаемых ферм, в которых размещены искровые камеры с конверторными пластинами и оптическими системами фотографирования треков. За фермами располагаются черенковские спектрометры полного поглощения.

Камеры стеклянные с дюралюминиевыми электродами площадью 60x60 см<sup>2</sup>.

Рабочий объем камеры 25 л, всей установки - 200 л. Наполнение - неон-гелиевая смесь (73% He + 27% He). В.в. импульс на каждую пару камер поступает по кабелю типа РК-8 от генератора ГИН-180 блочной системы питания, управления и контроля искровых камер с промежутком 1-15 см<sup>20/</sup>.

Особенностью работы камер является то обстоятельство, что общая задержка импульса запуска по условиям амплитудного анализа сигналов от черенковских  $\gamma$ -спектрометров достигает значения 2-2,5 мксек.

При условии однородности газовой смеси в симметрично включенных камерах и "чистоте" смеси, обеспечивающей время памяти не менее 8-12 мксек, эффективность регистрации камерами заряженных частиц при рабочей задержке близка к 100%. С точки зрения возрастания количества фоновых треков время чувствительности такой величины допустимо, поскольку прямой нучок через камеры в эксперименте не проходит (рис. 2).

В рабочем режиме камеры регистрируют электроны, возникающие при конверсии  $\gamma$ -квантов высокой энергии в одной из конверторных пластин. Перед первыми камерами таких пластин нет; они являются как бы "антисовпадательными" по отношению к другим. Отсутствие трека только в первых указывает на то, что запуск произошел от  $\gamma$ -квантов.

Определение эффективной массы производится по измерениям энергии продуктов распада (черенковские  $\gamma$ -спектрометры) и углов разлета (искровые камеры). Ошибка в определении угла трека порядка 0,2°.

С помощью описанной установки были получены новые данные о редких распадах векторных мезонов на  $e^+e^-$  пары<sup>14/</sup>.

В экспериментальной установке с искровыми камерами по ряду причин и, в первую очередь, с целью использования всего фотографируемого объема, оптимальным является попарно-параллельное включение, по аналогии с полосковыми линиями называемое симметричным. Выше показано, что наиболее эффективным является последовательное и, соответственно, оптимальным - симметрично-последовательное включение камеры.

Предложенная и исследованная автором вместе с сотрудниками камера с двойными проволочными электродами<sup>15/</sup> позволяет значительно ослабить корреляцию в срабатывании зазоров в симметричном включении. Применение проволочных электродов в камере обеспечивает, кроме того, ряд дополнительных

преимущества: практически минимальное количество вещества на пути частицы, уменьшение зависимости толщины искры от амплитуды в.в. импульса и др.

Изготовленная 8-промежуточная камера с двойными проволочными электродами была испытана во всех описанных выше схемах включения промежутков - параллельном, последовательном, симметричном с последовательным включением и со знакоперевающимся направлением очищающего поля <sup>/10/</sup>, а также в схеме <sup>/15/</sup> с очищающим полем одного направления. Камера наполнялась неон-гелиевой смесью. Характеристики камеры в симметричном последовательном включении промежутков подобны приведенным на рис. 16 для последовательного включения. При всех зарегистрированных случаях наличия треков в камере ( $N \gg 100$ ) нет ни одного случая отсутствия треков в одной из ее половин. Это свидетельствует о том, что эффективность регистрации камеры с проволочными электродами с последовательным питанием промежутков и симметричным включением практически равна 100%, а корреляция в срабатывании симметрично включенных групп последовательно питаемых промежутков отсутствует.

В экспериментах по изучению распадов  $K_L^0$ -мезонов пучок  $K$ -мезонов пропускается через камеру, расположенную в магнитном поле. Регистрируются электрон-позитронные пары, полученные в результате конверсии в стеклах двух конверторных пластин, установленных в камере параллельно пучку  $K$ -мезонов. Фотографирование производится сверху через отверстие в магните. Наиболее подходящим типом камеры для этого эксперимента является стримерная <sup>/8/</sup>.

Предложенная и испытанная автором симметричная стримерная камера с внутренними проволочными электродами <sup>/16/</sup> позволяет исключить ряд недостатков обычной <sup>/9/</sup> и получить некоторые полезные на практике свойства. Параметры проволочного электрода - радиус проволоки  $r_0 = 0.05 - 0.08$  мм, шаг  $a_0 = 1.0 - 1.5$  мм - были выбраны на основе проведенного анализа электростатического поля в промежутках симметричной камеры <sup>/17/</sup>. Найденные параметры позволили обеспечить достаточную для фотографирования прозрачность электрода и отсутствие коронирования проволок его в рабочем режиме. Фотография камеры (без экрана) приведена на рис. 3.

В "следящем" режиме и симметричном включении камера показала высокую эффективность регистрации - на все зарегистрированные случаи срабатывания камеры ( $N \gg 100$ ), включая треки, идущие под углом до  $40^\circ$ , нет ни одного случая срабатывания только одного промежутка, хотя флуктуации в яркости

трека по половинам камеры наблюдаются. Флюктуации яркости уменьшаются с ростом напряженности поля.

Последнее обстоятельство – сравнительное постоянство толщины искры при изменении напряженности поля в широких пределах – характерное для испытанных камер с проволочными электродами /15,16/ является весьма благоприятным для применения таких камер в экспериментах.

В последних параграфах главы рассмотрены требования к высоковольтному импульсу на электродах камеры и дан анализ электрического импеданса системы ее электродов.

Требования к параметрам импульса получены на основе стримерного механизма развития разряда в камере. Определена минимальная критическая скорость нарастания импульса  $v_{кр}$  для срабатывания на фронте и минимальное значение постоянной спада  $\tau_d$  экспоненциального импульса при аппроксимации кривых зависимости коэффициента ионизации  $\alpha = f(E)$  и дрейфовой скорости электронов  $w = f(E)$  функциями  $\alpha = k_w E$  и  $w = k_a E^m$ , где  $m$ ,  $k_a$ ,  $k_w$  зависят от рода газа и участка аппроксимации. При определении принято условие Мика  $\alpha l = 20$ .

В главе II рассмотрены общие требования к системам питания управления и контроля искровых камер, предназначенных для экспериментов на ускорителе, функциональные схемы и требования к элементам, вопросы расчета и проектирования основных блоков системы и дано описание разработанной и использованной в установках на синхрофазотроне аппаратуры.

Для экспериментов по изучению упругого  $\pi^+ p$ -рассеяния (1961 г.) автором вместе с сотрудниками была разработана система питания многопромежуточных искровых камер /19/ с управляемым разрядником в непосредственном включении на камеры. Разработанный разрядник – тригatronного типа, для снижения индуктивности коммутируемых цепей он устанавливается на коммуникационной стенке искровой камеры.

Мощный поджиг разрядника от тиратрона типа ТГИ1-130/10 обеспечивает возможность работы его без перестройки при напряжениях, отличающихся от пробивного на 10–20% при незначительном (10–20 нсек) увеличении задержки. Отличительной особенностью системы является сравнительно малая величина общей задержки запуска (180–200 нсек) от входного сигнала  $\approx 1$  в, полученная



за счет увеличения амплитуды импульса на сетке тиратрона путем применения в схеме ламп типа 6В2П и 6Э5П в форсированном режиме работы (гл. IV).

Опыт работы с искровыми камерами в эксперименте показывает, что система питания должна быть достаточно гибка и мобильна относительно видов применяемых камер, их размеров и величины промежутка. Поставленным требованиям в определенной степени отвечает предложенное и разработанное автором вместе с сотрудниками кабельное питание искровых камер с широким диапазоном значений разрядного промежутка.

Требуемый для работы камер с зазором от 1 до 15 см диапазон амплитуд в.в. импульса перекрыт двумя разработанными типами генераторов: ГИН1-25/6 с водородным тиратроном или управляемым разрядником и ГИН-180/4, собранным по схеме умножения Аркадьева-Маркса. ГИН1-25/6 имеет шесть выходов на кабель ( $w = 100$  ом). Параметры импульса на входе кабеля: амплитуда 2-25 кв, длительность фронта нарастания  $\approx 15-25$  нсек. От числа включенных кабелей параметры импульса практически не зависят. ГИН-180/4 имеет шесть ступеней умножения напряжения (25 кв на ступень) и 4 выхода на кабель ( $w = 75$  ом). Емкость генератора в ударе  $\approx 1500$  пф. Амплитуда импульса на входе кабеля 20-120 кв.

Запуск генераторов осуществляется сигналом монитора с помощью схем, отличительной особенностью которых является применение отечественных транзисторов в лавинном режиме, позволяющих получить импульсы амплитудой 40-200 в непосредственно, в схеме с одним транзистором.

Система регистрации треков в искровой камере должна обеспечивать возможность одновременной работы нескольких фоторегистраторов. Для их синхронной работы, а также для выполнения разного рода вспомогательных операций-подсвет реперов оптической системы, маркировка кадров, индикация и т.п. необходимы устройства программного запуска фоторегистраторов. Система управления и контроля камер должна предусматривать проверочный режим работы камер в эксперименте, в первую очередь, с помощью заряженных частиц. Дистанционный контроль треков в камере удобно осуществлять с помощью телевизионной установки. Поставленным требованиям отвечает разработанная под руководством автора блочная система питания, управления и контроля искровых камер с промежутком 1-15 см для экспериментов на ускорителе <sup>120/</sup>. Сис-

тема содержит описанные блоки генераторов для кабельного питания, 4-канальный стабилизированный источник высокого напряжения (гл. III), схему запуска от заряженных частиц, с регулируемой задержкой, блоки запуска фоторегистраторов, перечисленные схемы для дистанционного управления и контроля, включая промышленную телевизионную установку и скоростной осциллограф с фоторегистратором для контроля за параметрами в.в. импульса. Вход системы блокируется после 1-го запуска на время 3-21 сек, выбираемое по условиям эксперимента. Блочное исполнение системы позволяет производить ее компоновку в зависимости от требований эксперимента. Пример компоновки стойки питания системы при использовании ее в установке для исследования электромагнитных распадов бозонных резонансов <sup>/12,14/</sup> показан на рис. 4.

В заключительных параграфах главы произведена оценка возможностей созданных и проектируемых систем питания с точки зрения формирования на электродах искровой камеры импульсов с максимально крутыми фронтами. Оценка произведена на основе  $L/b$  - отношения индуктивности разрядной цепи к высоте поперечного сечения симметричной камеры. При этом время нарастания импульса на электродах камеры (без учета времени коммутации):

$$t_{\phi c} \geq 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ с}^{1/2} (\text{см}^2) \text{ сек} \quad (2)$$

для реальных систем, имеющих обычно отношение  $L/b = 10^{-8}$  гн/см. У генератора с умножением напряжения, современной керамикой для конденсаторов (рабочая напряженность поля  $E = 30$  кв/см) и разрядными промежутками под давлением  $L/b$  удается сократить до значения, равного  $\approx 0,25 \cdot 10^{-8}$  гн/см. При этом время нарастания импульса на электродах камеры, шунтированной характеристическим сопротивлением  $z$

$$t_{\phi z} \geq 0,055 \cdot 10^{-9} \text{ в см сек}, \quad (3)$$

где  $w$  - ширина среднего электрода симметричной камеры.

Рассмотренные результаты позволяют сформулировать требования к источникам и стабилизаторам высокого напряжения для систем питания искровых камер.

Глава III посвящена вопросам проектирования, разработки и опыту использования высоковольтных источников малой мощности с преобразованием

частоты и многоканальных высоковольтных стабилизаторов для систем питания искровых камер.

Использование в колебательных системах преобразователя трансформаторов с ферритовыми сердечниками улучшает его нагрузочные характеристики, повышает надежность, упрощает конструктивное выполнение различного рода разделительных трансформаторов и вместе с тем создает определенные трудности при проектировании устройства. С целью облегчения расчетов разработаны номограммы для выбора сердечников трансформаторов, базирующиеся на учете мощности потерь на гистерезис по модифицированной применительно к рассматриваемому случаю формуле Штейнмеца.

С помощью разработанной методики расчета была создана серия стабилизированных высокочастотных преобразователей с током нагрузки до 1 ма и напряжением 30-60 кв <sup>/21/</sup> для системы питания искровых камер в эксперименте по изучению упругого  $\pi^+$  рассеяния. Преобразователи имеют дистанционный регулятор уровня выходного напряжения, коэффициент стабилизации порядка  $\approx 20$ , малые габариты и сравнительно безопасны в эксплуатации. При этом для каждого уровня напряжения используется свой преобразователь.

При увеличении требуемой мощности целесообразным является разделение функций источника и функций стабилизатора высокого напряжения. Такое решение применено для блочной системы питания управления и контроля искровых камер <sup>/20/</sup>. Разработанный для этой системы 4-канальный источник высокого напряжения со стабилизацией и регулировкой в диапазоне 5-25 кв - СВ11 - 25/4 <sup>/23/</sup> (нижняя секция стойки питания, показанной на рис. 4) содержит высоковольтный преобразователь (ВВП-30к) с током нагрузки  $\approx 2$  ма, 4-канальный стабилизатор высокого напряжения (ЭСП1-25/4) и источники питания низкого напряжения.

Отличительной особенностью разработанного блока ВВП-30к является использование ферритового повышающего трансформатора в двухтактной схеме выходного генератора преобразователя, что достигнуто симметричным выполнением трансформатора.

Отличительной особенностью разработанного 4-канального стабилизатора является использование последовательно-параллельной схемы стабилизации высокого напряжения и высокочастотного накала регулирующих ламп. Максимальный ток нагрузки канала стабилизатора  $\approx 1,5$  ма, коэффициент стабилизации 100.

В заключительных параграфах главы определены предельные возможности стабилизатора описанного типа в режиме импульсного заряда емкости формирующих устройств системы питания искровых камер и требования к параметрам используемых в стабилизаторах электронных приборов для случаев одно- и многократного срабатывания системы в цикл работы ускорителя.

В главе IV (приложение) суммирован опыт работы автора в области наносекундной техники усиления формирования и регистрации электрических сигналов, тесно связанной с методикой искровых камер.

При проектировании усилителя представляет интерес рассмотрение предельных значений полосы усиления и возможности практической реализации этих значений.

Как показывает проведенный анализ и экспериментальные результаты работ автора /24, 27/, резкого уменьшения количества радиоламп в усилителе можно добиться путем: а) применения эффективных схем коррекции в предварительных каскадах усилителя и усилителя с распределенным усилением УРУ на его выходе, б) форсированием режима лампы выходных каскадов усилителя при усилении "редких" сигналов.

Иллюстрацией возможностей пункта а) может служить разработанный и описанный в /25/ усилитель. Отличительной особенностью его является применение автотрансформаторной коррекции 4-го порядка, которая при принятом способе аппроксимации /24/ позволяет реализовать 90% теоретического предела полосы в расчете на каскад при сравнительной простоте схемы коррекции — одна катушка индуктивности.

Иллюстрацией возможностей пункта б) может служить предложенная и описанная в той же работе /25/ экспериментальная схема каскада с форсированием режима лампы и автотрансформаторной коррекцией. На основании анализа и экспериментальных исследований в работе показывается, что одна лампа такого каскада при реальных значениях коэффициента форсирования режима  $k_{\phi} = 3-5^{/26/}$  и соотношений между частичными емкостями схемы коррекции  $n_{\phi} = 2-4$  эквивалентна 4-8 лампам УРУ по усилению и 16-32-по выходной амплитуде.

Разработанные схемы использования ламп в форсированном режиме нашли применение в схемах запуска систем питания, описанных в гл. II.

## Основные результаты диссертации

1. Впервые разработана и исследована многослойная искровая камера с последовательным включением промежутков. Эффективность регистрации частиц такой камеры приближается к эффективности регистрации камеры с большим промежутком, величина которого равна суммарной длине разрядных зазоров, включенных последовательно.

Удовлетворительное описание характеристик эффективности регистрации камеры получено при допущении "однолавиного" механизма развития разряда в камере, т.е. при наличии ионизированного следа в камере для развития разряда во всех промежутках достаточно возникновения искры в одном из них. Камера сочетает достоинства камер с большим и малым промежутком.

2. Предложена и исследована многослойная камера с симметричной системой двойных проволочных электродов и последовательным включением промежутков. Камера обеспечивает эффективность регистрации частиц, равную 100%, равномерное свечение искр по промежуткам и сравнительно слабую зависимость средней толщины искры от величины питающего напряжения (7-16 кв/см, 1,7-2,3 мм).

3. В экспериментах по исследованию электромагнитных распадов бозонных резонансов впервые на ускорителе для подобного рода задачи применены камеры с большим (10 см) промежутком.

4. Предложена и исследована стримерная камера с симметричной системой внутренних проволочных электродов. Камера позволяет получить высокую (100%) эффективность регистрации, равномерность свечения трека по половинам камеры и слабую зависимость толщины искры от амплитуды высоковольтного импульса в "следящем" режиме (8-10 кв/см, 2,1-2,4 мм).

В стримерном режиме в камере отсутствуют фигуры Лихтенберга на площади электродов, благодаря контролируемому сносу стримеров камера обеспечивает улучшение точности определения  $z$ -проекции. Камера позволяет более эффективно использовать фотографируемый объем в магнитном поле и произвести полное экранирование от высокочастотного излучения.

5. Разработана и в экспериментах по изучению  $\pi^+ p$  упругого рассеяния использована система питания многопромежутковых искровых камер с управляемыми разрядниками, высоковольтными стабилизированными источниками с пре-

образованием частоты, дистанционным управлением и уменьшенной задержкой запуска за счет применения форсированного режима ламп в схеме запуска.

6. Предложена, разработана и применена в экспериментах по изучению электромагнитных распадов бозонных резонансов блочная система питания, управления и контроля искровых камер с промежутком 1-15 см, в которой с целью использования камер с различными величинами промежутков и их изменения в процессе работы применены генераторы кабельного питания во всем требуемом диапазоне амплитуд импульса (5-200 кв) и многоканальные стабилизаторы высокого напряжения в диапазоне 5-25 кв. В схемах запуска системы использованы отечественные транзисторы в лавинном режиме.

7. Предложены и разработаны высоковольтные источники с преобразованием частоты со стабилизацией и использованием ферритовых повышающих трансформаторов (в том числе двухтактных) в выходных ступенях автогенераторов преобразователя. Источники имеют малые габариты, выносное управление и сравнительно безопасны в эксплуатации.

8. Предложены, разработаны и использованы в системах питания искровых камер в экспериментах многоканальные стабилизаторы высокого напряжения, в которых с целью расширения пределов регулирования выходного напряжения и улучшения стабилизации использована последовательно-параллельная схема стабилизации в диапазоне 5-25 кв. Коэффициент стабилизации  $\approx 100$ , ток нагрузки канала до 1,5 ма.

9. Предложены методы реализации предельной полосы линейного усилителя путем совместного использования автотрансформаторной коррекции 4-го порядка в предварительных каскадах и усилителя с распределенным усилением на выходе. Достигнутое значение полосы усилителя в расчете на каскад при выбранном способе аппроксимации составляет  $\approx 90\%$  теоретического предела.

Для случая усиления "редких" сигналов предложено и испытано совместное использование автотрансформаторной коррекции и форсирование режима работы лампы выходных каскадов усилителя. Показано, что одна лампа такого каскада эквивалентна 5-8 лампам обычного усилителя с распределенным усилением по усилению и 16-32 лампам по выходной амплитуде.

10. На основе применения стримерной теории газового разряда получены соотношения для определения параметров высоковольтного импульса на электродах камеры. С помощью введенного отношения  $L/b$  произведена оценка параметров формирующих в.в. импульс устройств, предложено согласование электрического импеданса камеры, как метод реализации предельных параметров импульса на ее электродах.

11. Систематизирован материал по вопросам выбора и использования искровых камер для изучения редких процессов. Показаны определенные преимущества фотографируемых камер в задачах такого рода.

12. С помощью разработанной аппаратуры искровых камер в установке для исследования электромагнитных распадов бозонных резонансов получены предварительные результаты по наблюдению очень редких распадов векторных мезонов на  $e^+e^-$  пары.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах<sup>/10-27/</sup> и доложены на международном симпозиуме по ядерной электронике в Дрездене (ГДР) в 1965 г., совещании по искровым камерам в Дубне (1966 г.), на конференциях в Беркли и Станфорде (США, 1966 г.) и на других совещаниях и конференциях.

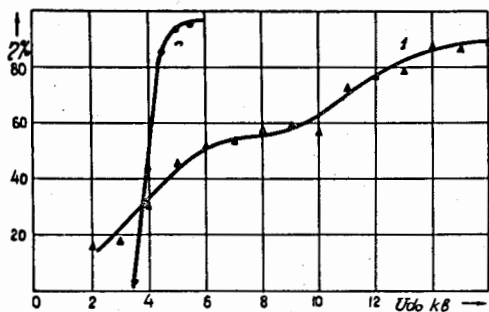
#### Л и т е р а т у р а

1. I.W.Keuffel. Rev. Sci. Instr. 20, 203 (1949).
2. А.А. Тяпкин. ПТЭ , № 3, 51 (1956).
3. M.Conversi, S.Focardi, C. Franzinetti, A.Gozzini, P.Murtas. Suppl. Nuovo Cimento 4, 234 (1956).
4. T.E.Cransham, J.F.de Beer Nuovo Cimento 5, 1107 (1957).
5. S.Fucui, S.Mijamoto. Nuovo Cimento, 11, 113 (1959).
6. Spark Chamber Simposium. Rev. Sci. Instr, 32. 480-531 (1961).
7. А.Ф. Писарев. Препринт ОИЯИ 1655, Дубна 1964.
8. В.А. Михайлов, В.Н. Ройнишвили, Г.Б. Чиковани. V конференция по ядерной электронике. Москва 1964.  
А.А. Борисов, Б.А. Долгошейн, Б.И. Лучков. ПТЭ, 2, 170 (1962).
8. Г.Б. Чиковани, В.А. Михайлов, В.Н. Ройнишвили. ЖЭТФ 46, 4, 1228 (1964).  
Б.А. Долгошейн, Б.Н. Лучков, Б.У. Родионов. ЖЭТФ 46, 6, 1853 (1964).

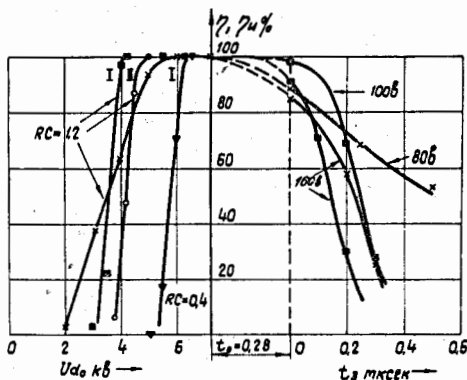
10. Б.Н. Гуськов, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. ПТЭ, 1, 80 (1966).
11. А.С. Вовенко, Я. Гладкий, Б.Н. Гуськов, А.Л. Любимов, А.Т. Матюшин, И.А. Савин. Препринт ОИЯИ Р-2506, Дубна 1965.  
(Чехословацкий физический журнал) (в печати).
12. M.A.Azimov, A.S.Belousov, I.V.Chuvilo, R.Firkowski, M.N.Khachatryan, M.S.Khvastunov, L.G.Makarov, E.L.Maltsev, A.T.Matyshin, B.T.Matyshin, V.S.Pantuev, L.N.Starkov, D.V.Uvalsky, B.A.Zelenov, L.I.Zhuravleva.  
Препринт ОИЯИ E13-2871., Дубна 1966. Proc. of the 1966 Intern. Conf. of Instr. for High Energy Physics. Stanford, Sept 9-10 (1966).
13. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин, Р. Фирковски, М.Н. Хачатурян, М.С. Хвастунов. Препринт ОИЯИ 13-3220, Дубна 1967. ПТЭ (в печати).
14. M.A.Azimov, A.M. Baldin, A.S.Belousov, J.Hladky, L.I.Zhuravleva, G.A.Ososkov, J.Manca, A.T.Matyushin, B.T.Matyshin, V.T.Khvastunov, I.V.Chuvilo, L.N.Starkov.  
Препринт ОИЯИ E13-3148, Дубна 1967. Phys. Lett. (в печати)
15. Б.Н. Гуськов, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин, Р. Фирковски. Препринт ОИЯИ 13-2858, Дубна 1966; ПТЭ (в печати).
16. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. ПТЭ, 5, 75 (1966).
17. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Препринт ОИЯИ Р-2364, Дубна 1965.
18. П. Амбро, Ю.А. Каржавин, В.Т. Матюшин, А.Т. Матюшин, П. Шошев. Препринт ОИЯИ Р-2368, Дубна 1965; ПТЭ, 1 (1967).
19. Н.С. Глаголева, Ю.А. Каржавин, А.Т. Матюшин, Н. Шинагл. Препринт ОИЯИ 2671, Дубна 1966.
20. Н.С. Глаголева, Г. Даминов, Ю.А. Каржавин, А.Н. Любенко, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин, В. Олейничак, В.Я. Рубцов, Р. Фирковский, М.Н. Хачатурян, И.В. Чувило. Препринт ОИЯИ 13-3219, Дубна 1967. ПТЭ (в печати).
21. А.Т. Матюшин, Н.С. Глаголева, И. Шинагл. Препринт ОИЯИ 2672, Дубна 1966.
22. А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин. Препринт ОИЯИ 2365, Дубна 1965.
23. Н.С. Глаголева, А.Т. Матюшин, В.Т. Матюшин, Р. Фирковский, М.Н. Хачатурян, И.В. Чувило. Препринт ОИЯИ 13-3207, Дубна 1967; ПТЭ (в печати).
24. А.Н. Калинин, А.Т. Матюшин. Радиотехника 20, 4, 45 (1965).
25. А.Н. Калинин, А.Т. Матюшин. Препринт ОИЯИ 2367, Дубна 1965.
26. А.Т. Матюшин, В.Т. Мортвичев. Вопросы радиоэлектроники, 1, 7, 81 (1965).
27. А.Т. Матюшин. Вопросы радиоэлектроники, VI, 6 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 июля 1967 г.





а



б

Рис. 1. Зависимость эффективности регистрации  $\eta$  и  $\eta_{II}$  8-промежковой камеры с зазором 1,2 см при разных способах включения: а) от напряжения высоковольтного импульса на промежутке  $V_{d_0}$ . 1 - параллельное включение,  $RC = 1,2$  мксек, 2 - последовательное симметричное,  $RC = 0,9$  мксек; б) от напряжения  $V_{d_0}$  и задержки высоковольтного импульса  $t_3$  при последовательном I (4 промежутка), последовательном симметричном (по 4 промежутка) II ( $\eta$ ) в параллельном включении ( $\eta_{II}$ ) промежутков при различных значениях  $RC$  (в мксек) и напряжений очищающего поля  $V_{0н}$  ( $t_0$  - аппаратурная задержка).

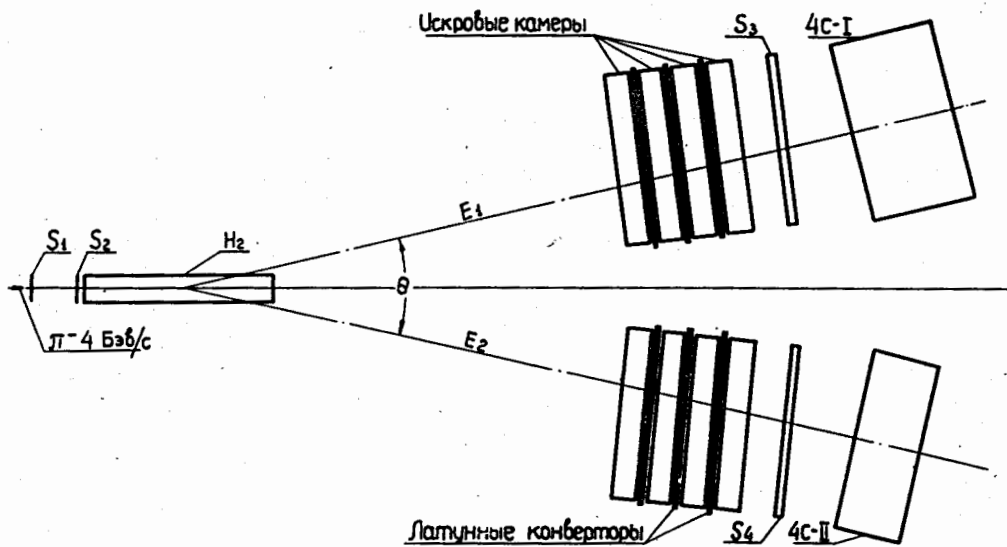


Рис. 2. Схема установки для исследования электромагнитных распадов бозонных резонансов.  $S_1$  -  $S_4$  - сцинтилляционные счетчики,  $H$  - жидководородная мишень, 4C-I, II - черенковские спектрометры.

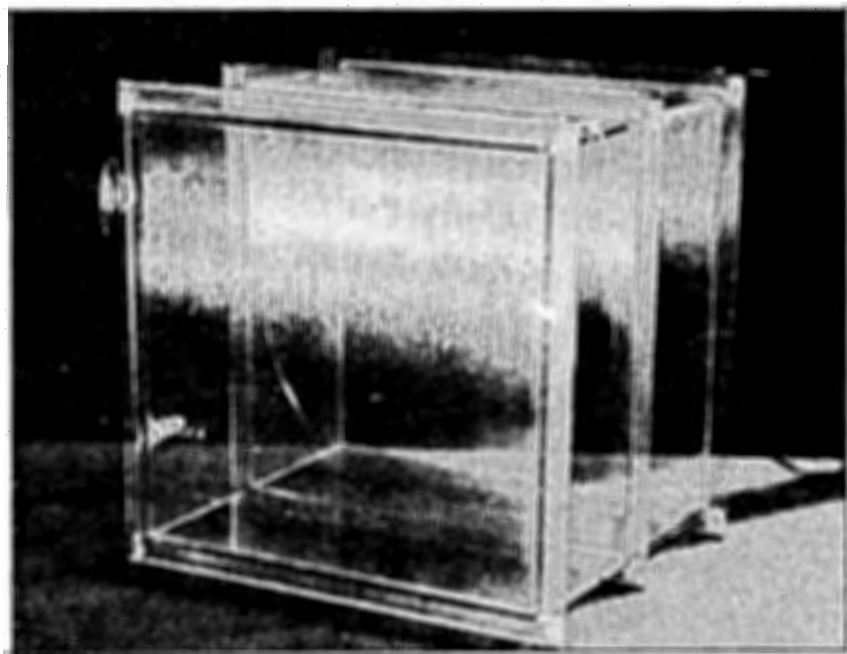


Рис. 3. Стримерная камера с симметричной системой внутренних проволочных электродов (без экрана).

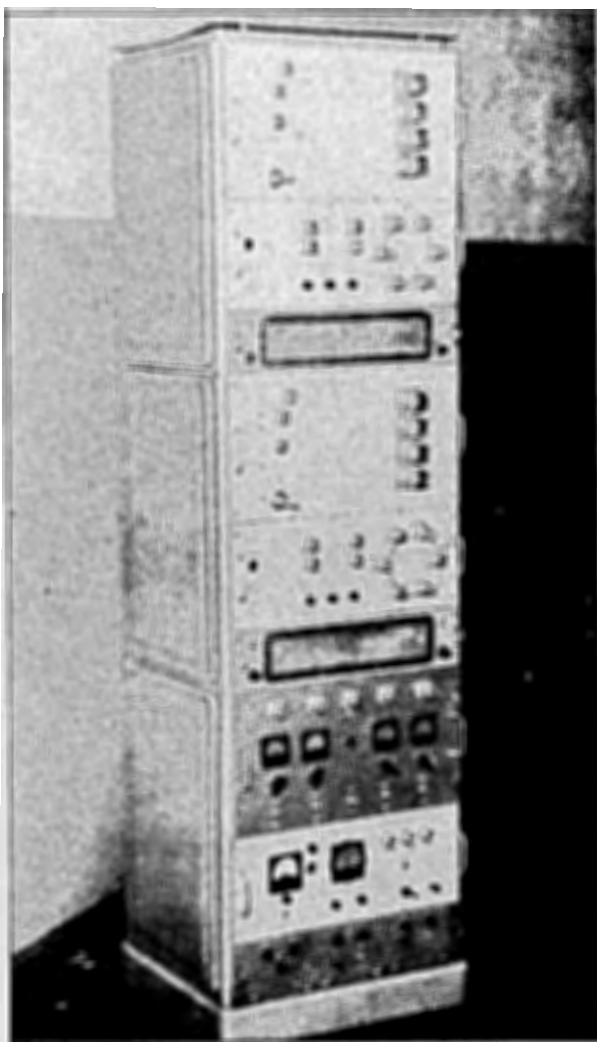


Рис. 4. Стойка питания блочной системы питания управления и контроля искровых камер с промежутком 1-15 см для экспериментов на ускорителе. Пример компоновки для установки по исследованию электромагнитных распадов бозонных резонансов. Две верхние секции стойки - генераторы для кабельного питания камер (ГИН 1-180/4 и ГИН 1-25/6 с вентиляционными блоками); нижняя секция 4-канальный источник со стабилизацией и регулировкой в диапазоне 5-25 кв - СВИ 1-25/4 (блоки ЭСП 1-25/4, ВВП-30 и ИНН-1).