

6522

ЭНЭ. ЧИТ. ЗАЛ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P13 - 6522

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ

Л.С.Ажгирей, В.В.Асанов, Л.В.Будкин, В.А.Бычков,  
А.С.Кузнецов, Г.Д.Столетов, А.Ф.Филозов

СИСТЕМА ПРОВОЛОЧНЫХ ИСКРОВЫХ КАМЕР  
С ПАМЯТЬЮ НА ФЕРРИТОВЫХ КОЛЬЦАХ

1972

P13 - 6522

Л.С.Ажгирей, В.В.Асанов, Л.В.Будкин, В.А.Бычков,  
А.С.Кузнецов, Г.Д.Столетов, А.Ф.Филозов

СИСТЕМА ПРОВОЛОЧНЫХ ИСКРОВЫХ КАМЕР  
С ПАМЯТЬЮ НА ФЕРРИТОВЫХ КОЛЬЦАХ \*

*Направлено в ПТЭ*

---

\* О конструкции искровых камер сообщалось на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Новые образцы детекторов ядерных излучений и их применение в науке и технике", Москва, май 1970 г.

## В в е д е н и е

Проволочные искровые камеры нашли широкое применение в опытах по рассеянию частиц высоких энергий, где необходимо производить точные измерения координат треков частиц в пределах больших телесных углов. Задача быстрой обработки большого объема поступающей при этом информации путем участия ЭВМ в эксперименте также успешно решается при использовании методики проволочных камер. В настоящей работе описаны конструкция и некоторые физические характеристики системы проволочных искровых камер с памятью на ферритовых кольцах, разработанной для экспериментов на выведенном пучке протонов синхрофазотрона ОИЯИ. Описываемые камеры должны служить для регистрации координат траекторий рассеянных частиц на входе и выходе магнитного спектрометра.

### Конструкция искровых камер

При разработке искровых камер учитывались факторы, связанные с затратами времени и средств, доступностью материалов, технологичностью изготовления. Конструктивно камеры выполнены из отдельных блоков: искрового промежутка, двух матриц памяти, двух генераторов опроса и высоковольтного генератора, смонтированных на общем осно-

вании. Блочная конструкция камер упрощает процесс их изготовления и позволяет легко осуществлять замену или ремонт отдельных узлов.

Общий вид камер трех модификаций, различающихся размерами рабочей области -  $116 \times 116$ ,  $308 \times 308$  и  $308 \times 616$  мм<sup>2</sup>, показан на рис. 1.

Съем информации осуществлен с помощью памяти на ферритовых кольцах, хотя конструкция искрового промежутка позволяет применить и магнестрикционный способ считывания. Информация считывается с обоих электродов камеры, однако при необходимости камеру можно превратить в однокоординатную, что вдвое сокращает требуемое количество матриц памяти и генераторов опроса.

Искровой промежуток образуется двумя взаимно ортогональными системами  $x$  и  $y$  параллельных нитей, закрепленных на рамке из стеклотекстолита толщиной 8 мм. Эти системы являются соответственно заземленным и высоковольтным электродами камеры. Рамка искрового промежутка склеена из прямоугольных полос, нарезанных из листового стеклотекстолита марки СВМ без дополнительной обработки. Перед намоткой электродов на рамку наклеивались выводные контактные полосы для распайки проволочек и подключения матриц памяти. На контактных полосах, изготовленных из фольгированной стеклоткани ФДМ-1, фотохимическим методом вытравлены проводники шириной 0,6 мм с шагом 1,2 мм.

Электроды наматывались на специально разработанном станке. Станок обеспечивает равномерность шага намотки  $\pm 0,1$  мм, постоянство натяжения проволоки  $\pm 10\%$  в пределах от 30 до 300 г и позволяет наматывать электрод средних размеров за 45 мин. Намотка производилась с шагом 1,2 мм проволокой диаметром 0,1 мм из меди или бериллиевой бронзы с натяжением, соответственно, 130 или 250 г. По четыре дополнительных нити с обеих сторон каждого электрода обеспечивают однородность электрического поля в рабочей области камеры. Для устранения

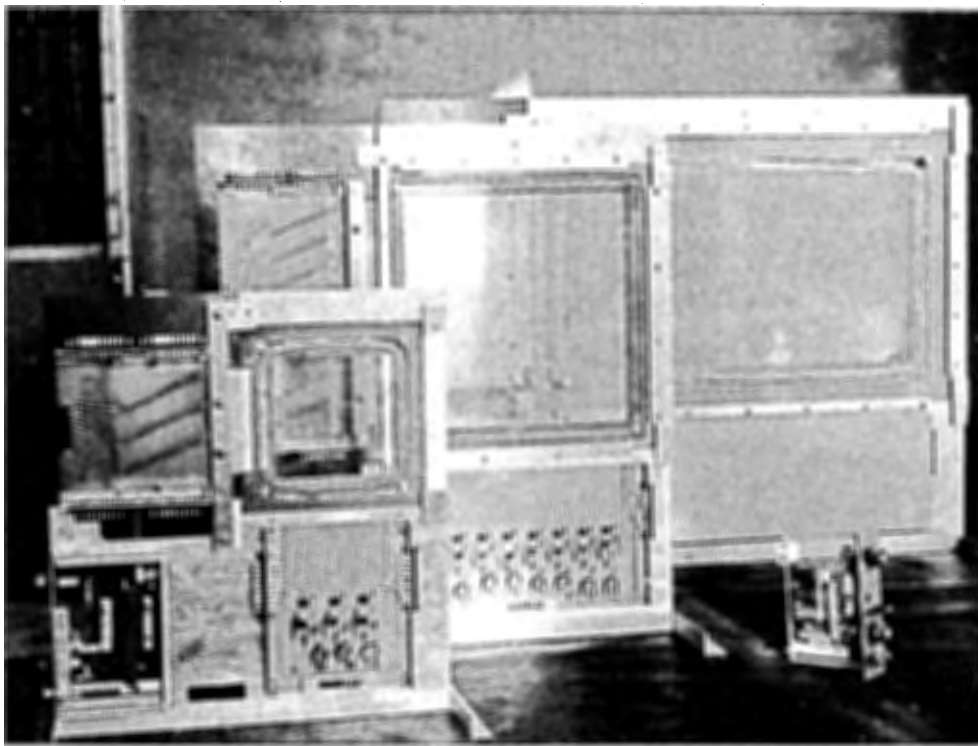


Рис. 1. Общий вид искровых камер.

ложных краевых пробоев крайние нити имеют диаметр 0,8 мм и отстоят от внутренних кромок рамки на 12 мм. Внутренний объем камеры отделяется от внешней среды полиамидной пленкой ПК4-А толщиной 50 мкм и заполняется рабочим газом. Каждая камера по многократному рассеянию эквивалентна ~ 40 см воздуха (75% дают проволоочки, 20% - защитные пленки и 5% - газовая смесь).

Матрицы памяти смонтированы на платах из фольгированного стекло-текстолита толщиной 1,5 мм, на которых вытравлены такие же проводники, как и на выводных полосах электродов. Контакт матриц памяти с электродами осуществляется с помощью механического прижима. Матрицы для заземленного и высоковольтного электродов идентичны, проводники на них объединены общей шиной, которая либо заземляется, либо подключается к высоковольтному генератору. Проводники матриц памяти имеют разрывы, в которые впаяны перемычки из провода МГТФ с насаженными на них ферритовыми кольцами; эти перемычки и служат обмотками записи. Все кольца разбиты на группы по 32 кольца, каждая группа имеет общую обмотку считывания, подключаемую к соответствующему генератору опроса. Кроме того через одноименные кольца всех групп проходят сигнальные обмотки, соединяемые с усилителями системы считывания. Матрицы памяти для электродов шириной 116, 308 и 616 мм содержат по 96, 256 и 512 колец, соответственно. Применены ферритовые кольца с прямоугольной петлей гистерезиса М0,16 ВТ-2 размером  $2 \times 1,4 \times 1 \text{ мм}^3$ .

Генератор опроса, принципиальная схема которого показана на рис. 2, обеспечивает импульс тока считывания длительностью 1 мксек и амплитудой 1,5 а. Этот импульс достаточен для одновременного изменения состояния намагниченности не менее чем у 10 колец в группе. Генераторы опроса смонтированы на платах, на которых вытравлены

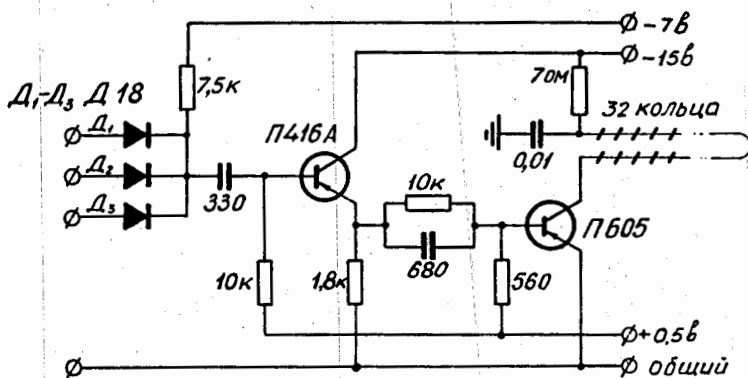


Рис. 2. Принципиальная схема генератора опроса.

24 выходные шины дешифратора счетчика групп; номер группы определяется комбинацией трех подсоединенных к генератору шин. Матрицы памяти и генераторы опроса расположены на основании камеры так, что включение обмоток считывания осуществляется без промежуточного кабеля.

Принципиальная схема высоковольтного генератора приведена на рис. 3. Для формирования высоковольтного импульса применен вакуумный искровой разрядник ВИР-14, запускаемый импульсом положительной полярности от общего для всех камер генератора импульсных напряжений. Высоковольтный генератор обеспечивает время нарастания переднего фронта высоковольтного импульса не более 20 нсек и вносит задержку ~ 25 нсек. Длительность импульса определяется значениями накопительной емкости  $C_H$ , емкости камеры  $C_K$  и шунтирующего сопротивления  $R_{ш}$ . Генератор испытывался в условиях, имитирующих работу на синхрофазотроне ОИЯИ. Было произведено  $2 \cdot 10^5$  запусков ВИР-14 пачками импульсов; длительность пачки составляла 0,3 сек, частота импульсов внутри

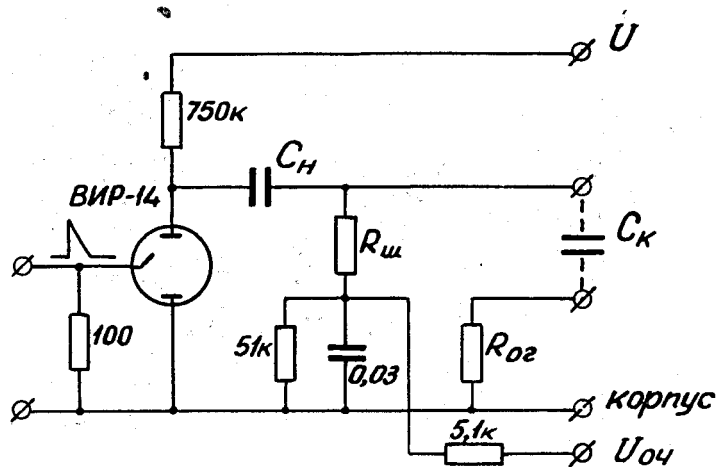


Рис. 3. Принципиальная схема высоковольтного генератора.

пачки - 300 гц, частота следования пачек - 0,1 гц. После испытаний отклонений в параметрах высоковольтного импульса не наблюдалось.

При отработке конструкции камер были приняты меры по уменьшению паразитных емкостей электродов камер относительно земли и относительно элементов электронных схем, установленных на камерах. В результате, например, для камеры с рабочим объемом 308x308x8<sup>3</sup> мм при собственной емкости искрового промежутка ~240 пф паразитные емкости заземляемого и высоковольтного электродов относительно земли составили ~180 пф каждая. Принятые меры привели к устранению наводок в цепях системы считывания информации от схемы импульсного питания, а также позволили снизить величину питающего высокого напряжения.



### Система считывания информации

Схема запуска искровых камер и считывания информации показана на рис. 4. Ионизирующие частицы, которые должны быть зарегистрированы искровыми камерами ИК, отбираются системой сцинтилляционных счетчиков  $C_1$  и  $C_2$ , включенных на совпадение. Импульс от схемы совпадений  $CC$  через схему блокировки  $CB1$  поступает на генератор импульсных напряжений ГИН, формирующий импульсы для запуска высоковольтных генераторов искровых камер. После срабатывания искровых камер информация о координатах ионизирующей частицы фиксируется в матрицах памяти как изменение состояния намагниченности ферритовых колец, соответствующих замкнутым искрой нитям электродов. Преобразование информации, представленной набором опрокинутых колец, к виду, удобному для работы с ЭВМ, выполняется системой считывания.

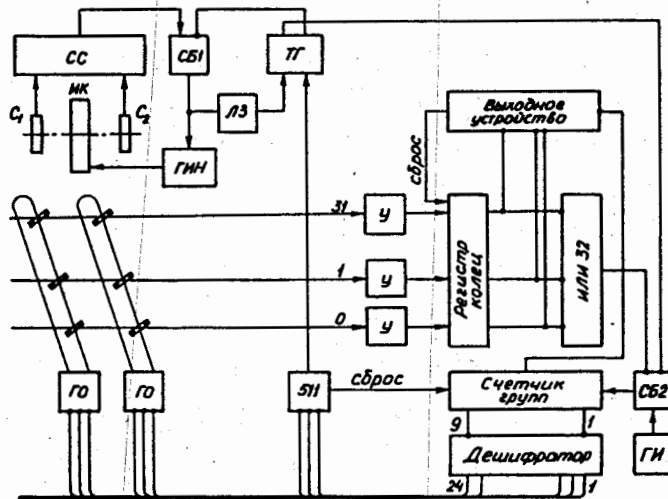


Рис. 4. Схема запуска искровых камер и считывания информации.

Система считывания запускается импульсом от схемы совпадений, задержанным на время срабатывания камер. Поступление последующих импульсов совпадений блокируется схемой блокировки СБ1 до окончания процесса считывания. Группы по 32 кольца последовательно опрашиваются под управлением девятиразрядного счетчика групп с помощью генераторов опроса ГО с частотой 0,25 МГц до тех пор, пока не встретится группа, содержащая кольца, опрокинутые током искры. Эти кольца под действием импульса тока, проходящего по обмотке считывания, переводятся в начальное состояние. При этом в соответствующих сигнальных обмотках возникают сигналы, поступающие через усилители У на триггеры 32-разрядного регистра колец. Переход любого триггера регистра колец в состояние "1" вызывает блокировку счетчика групп, фиксирующего номер группы. Содержимое счетчика групп и состояние регистра колец может быть передано в память ЭВМ. После сброса в "0" регистра колец опрос продолжается. Когда будет опрошена последняя, 511-я группа, снимается блокировка со схемы СБ1 и может быть произведен следующий запуск искровых камер.

В описанной выше схеме считывания информация представляется в виде 41-разрядных слов. Возможен также режим передачи информации в ЭВМ 16-разрядными словами. В этом случае состояние регистра колец кодируется пятью разрядами, давая номер проволоки в группе. Два разряда используются для того, чтобы указать количество смежных колец, опрокинутых током одной искры.

#### Характеристики искровых камер

Для выбора оптимального режима работы искровых камер исследовались зависимости эффективности камер и числа перемагниченных колец на искру от параметров высоковольтного импульса, а также проводились измерения времени памяти камер при заполнении их различными

газами. В процессе измерений камеры облучались пучками электронов от источников  $^{90}\text{Sr}$  или  $^{106}\text{Ru}$ .

Эффективность регистрации камерой заряженных частиц определялась как отношение числа срабатываний камеры к числу запусков высоковольтного генератора. В результате измерений найдено, что при питающем напряжении на накопительной емкости  $\geq 5$  кв, длительности фронта высоковольтного импульса  $\sim 20$  нсек и постоянной времени разряда через шунтирующее сопротивление  $\sim 0,3$  мсек - эффективность камер к запуску составляет  $\sim 98\%$ . Типичные счетные характеристики искровой камеры в случае заполнения ее неон-гелиевой смесью ( $\sim 75\% \text{Ne}$ ) показаны на рис. 5. Приведенные характеристики получены для искровой камеры размером  $308 \times 616 \text{ см}^2$  с собственной емкостью  $C_k = 440$  пф (при значениях параметров схемы высоковольтного генератора  $C_H = 2320$  пф,  $R_{\text{ш}} = 115$  ом,  $R_{\text{ог}} = 25$  ом). На рис. 5 также показано в относительных единицах число случаев, когда искровой разряд замыкает 1 проволочку, 2,3 или 4 смежных проволочки электрода камеры; эти данные характеризуют размер искры.

Точность восстановления координат заряженной частицы с помощью искровой камеры зависит, в основном, от расстояния  $s$  между двумя соседними проволочками и от числа опрокинутых током искры колец /1,2/. Она может достигать  $s/4$ , если будут реализованы условия, при которых регистрируемая частица, пролетая между проволочками, приводит к опрокидыванию четного числа смежных колец, а пролетая вблизи проволочки - к опрокидыванию нечетного числа колец. При этом среднее число опрокинутых колец  $\bar{n}$  будет полуцелым. Из рис. 5 видно, что для  $x$ -электрода  $\bar{n}_x \approx 2,5$  в области напряжений 5,6 кв. Чтобы проверить, реализуются ли в этом случае указанные выше условия, приводящие к повышению точности регистрации, измерялось распределение собы-

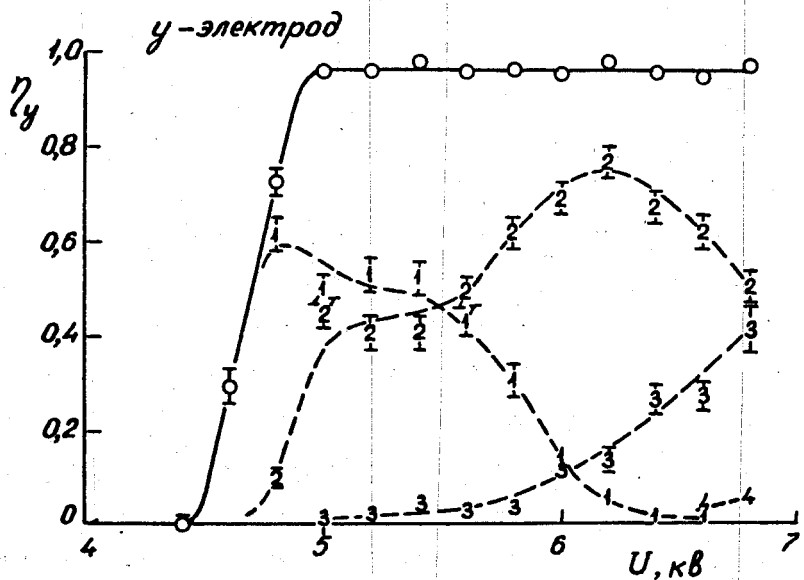
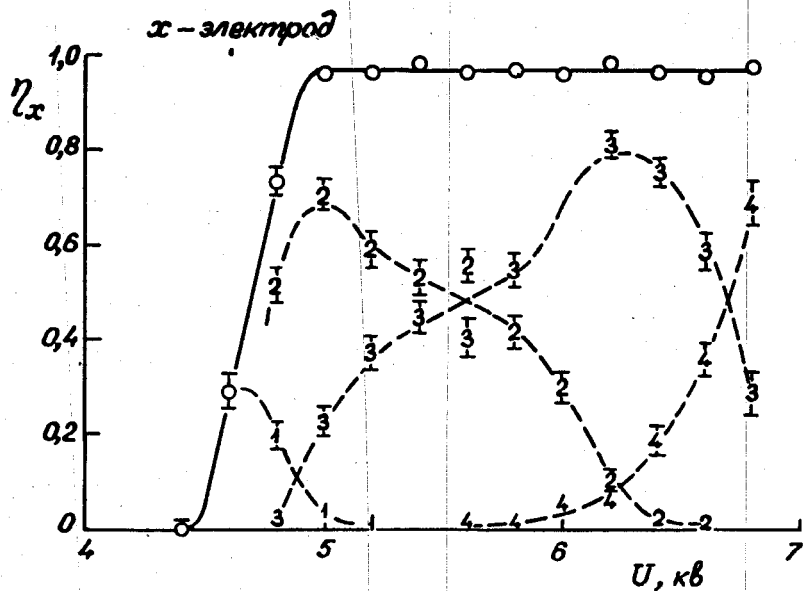


Рис. 5. Зависимость эффективности камеры и числа колец, опрокинутых током искры, от напряжения на накопительной емкости. Наполнение - 75% Ne + He . Кривые проведены визуально.

тий по числу смежных проволочек, затронутых искрой, для коллимированного пучка электронов. Измерения производились в центральной области камеры для неон-гелиевой смеси. Пучок электронов с помощью щелевого коллиматора шириной 0,6 мм в одном случае направлялся на проволочку, в другом – между проволочками. Результаты измерений представлены на рис. 6. Видно, что в первом случае (гистограмма а) искровой разряд происходит в основном на три проволочки, а во втором (гистограмма б) – на две проволочки. Для сравнения на том же рисунке (гистограмма в) показано распределение событий для измерений, выполненных без коллиматора.

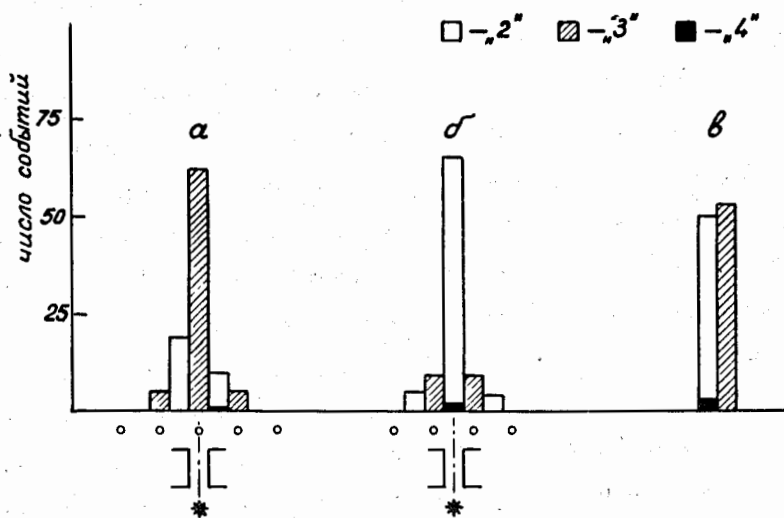


Рис. 6. Распределения событий по числу смежных опрокинутых колец при измерениях с коллимированным пучком электронов, направленным на проволочку (гистограмма а) или между проволочками (гистограмма б). Гистограмма в – измерения без коллиматора.

Таким образом, полученные результаты показывают, что возможно выбрать такой режим работы искровых камер, при котором точность восстановления координаты частицы составит  $-\pm s/4$ .

Известно, что если размеры электродов искровых камер с пересекающимися проволочками достаточно велики, то эффективность камеры может заметно меняться вдоль ее чувствительной поверхности <sup>3/</sup>. Это связано с тем, что электроды камеры образуют длинную линию, свойства которой отражаются на распределении напряжений вдоль поверхности электродов. В связи с этим были проведены измерения эффективности в разных участках рабочей области камеры размером 308 x 616 мм<sup>2</sup> при значениях питающего напряжения 5,4 кв; 5,6 кв и 5,8 кв. На рис. 7 показаны результаты измерений при 5,8 кв. Видно, что эффективность камеры одинакова по всей площади рабочей области. Вместе с тем следует отметить, что среднее число проволочек на искру не остается постоянным, возрастая по мере удаления от заземленной и высоковольтной шин x и y -электродов соответственно. Аналогичные результаты получены и для других напряжений. Таким образом, задача расширения области повышенной точности регистрации координат до размеров всей рабочей поверхности связана с исследованием свойств камеры как длинной линии и с разработкой соответствующей схемы питания.

Время памяти искровых камер определялось путем измерения зависимости эффективности камеры от величины задержки в подаче высоковольтного импульса при различных значениях очищающего поля, полярность которого была противоположна полярности высоковольтного импульса. За величину времени памяти принималось время задержки, при котором эффективность составляла 0,5. Измерения проводились для следующих газов: чистый неон, неон-гелиевая смесь, неон-гелиевая

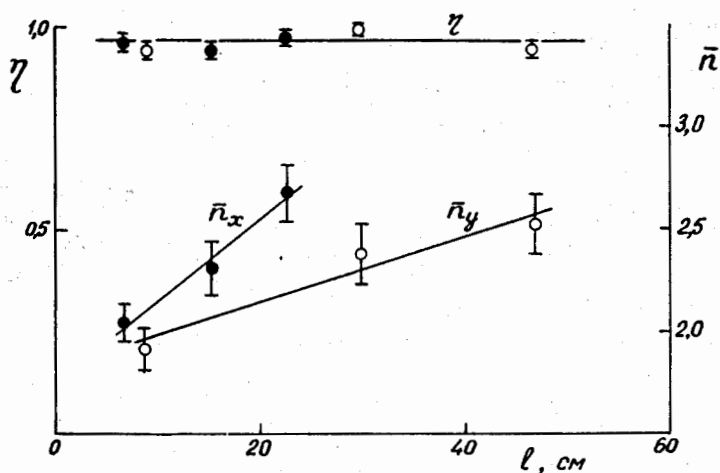


Рис. 7. Эффективность  $\eta$  и среднее число опрокинутых колец на искру  $\bar{n}$  для  $x$  и  $y$ -электродов в зависимости от значений  $y$  и  $x$ -координат, отсчитываемых от места заземления или приложения высоковольтного импульса, соответственно. Прямые проведены визуально.

смесь с добавлением  $\sim 1,5\%$  паров этилового спирта. В качестве примера на рис. 8 показаны результаты измерений для неон-гелиевой смеси. Зависимости времени памяти камер от величины очищающего поля для разных рабочих газов приведены на рис. 9.

Анализ полученных данных позволяет оценить некоторые физические характеристики исследованных газов, полезные для выбора рабочей смеси. Если учитывать убиение электронов из искрового промежутка  $d$  под действием очищающего поля  $E_c$ , полярность которого противоположна полярности высоковольтного импульса, то выражение для эффективности  $\eta$  искровой камеры в зависимости от задержки  $\tau$  между прохождением ионизирующей частицы и подачей высоковольтного импульса можно записать в виде /4,5/:

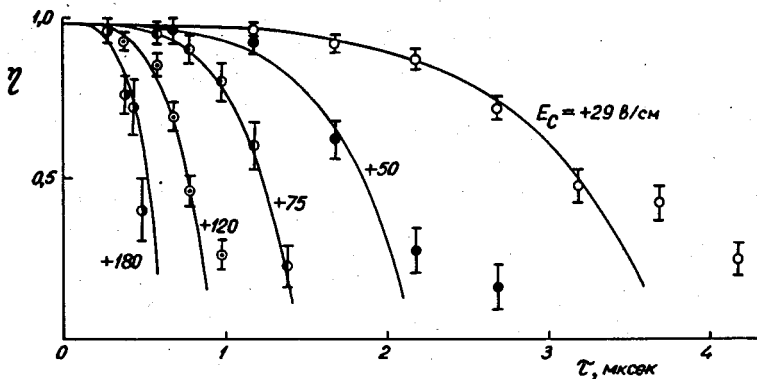


Рис. 8. Зависимости эффективности камеры от времени задержки в подаче высоковольтного импульса при различных значениях очищающего поля. Наполнение - 75% Ne + He . Кривые вычислены по формуле (1).

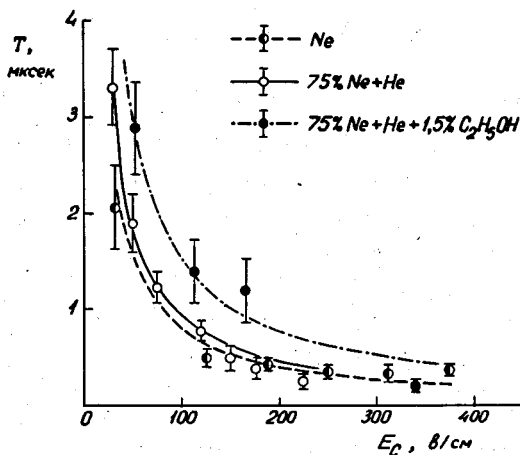


Рис. 9. Зависимости времени памяти камер от величины очищающего поля для разных рабочих газов. Кривые вычислены по данным, приведенным в таблице.



$$\eta = 1 - \exp \{ -f n_0 (d - d_0) \} \quad \tau \leq t_0 ,$$

$$\eta = 1 - \exp \{ -f n_0 (d - u(E_c) \tau) \} \quad \tau > t_0 , \quad (1)$$

где  $n_0$  - первичная ионизация,  $t_0 = d_0 / u(E_c)$ ,  $u(E_c)$  - дрейфовая скорость электронов. Величина  $d_0$  включает расстояние, на котором электронная лавина, инициированная отдельным электроном, достигает критического состояния, и смещение электронов под действием фронта высоковольтного импульса. Фактор  $f$  учитывает потери первичных электронов за счет всех остальных процессов, например, за счет диффузии или прилипания к молекулам электроотрицательных газов, содержащихся в камере в виде примесей. Для проволочных камер из-за диффузии ионов через электроды /6/ зависимость  $\eta(\tau)$  при больших значениях задержек может иметь медленно спадающую часть, не описываемую формулой (1).

Дрейфовая скорость электронов в области не слишком больших очищающих полей почти прямо пропорциональна величине очищающего поля, и ее можно представить в виде  $u(E_c) = m E_c$ , где  $m$  - подвижность. Найденные в этом приближении на основе соотношения (1) значения  $m$  и  $f n_0$  для исследованных газов приведены в таблице.

Газ	$f n_0$ , см <sup>-1</sup>	$m$ , 10 <sup>4</sup> см <sup>2</sup> /в.сек
Ne	7,2 ± 0,3	0,85 ± 0,06
75% Ne + He	6,0 ± 0,3	0,74 ± 0,05
75% Ne + He + 1,5% C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	4,4 ± 0,3	0,42 ± 0,04

Кривые, показанные на рис. 8 и 9, представляют зависимости эффективности от времени задержки и времени памяти от очищающего поля, вычисленные с использованием полученных значений ионизации и подвижности.

В заключение авторы выражают благодарность профессору М.Г. Мещерякову за поддержку работы. Авторы также благодарны С.В. Разину, принимавшему участие в проведении некоторых измерений.

#### Литература

1. E.Bleser, G.B.Collins, J.Fischer, T.Fujii, S.Heller, W.Higinbotham, J.Menes, H.Pate, F.Turkot, N.C.Hien. Nucl. Instr. Meth., 44, 1 (1966).
2. G.Charpak, Ann. Rev. Nucl. Sci., 20, 195 (1970).
3. J.Fischer, S.Shibata. IEEE Transactions Nucl. Sci. NS - 15, No. 3, 572 (1968).
4. O.C.Allkofer. "Spark Chambers". Verlag Karl Thieming, München, 1969.
5. К.Г. Некрасов. ОИЯИ, P13-5811, Дубна, 1971.
6. В.П. Канавец, В.И. Мартынов, В.В. Рыльцов. Препринт ИТЭФ, №806, Москва, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 июня 1972 года.