

СЗУЧ. 14

Г-124

ИТЭ, 1966, №6,

22/xi-65

с. 69-74.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2398



А.С. Гаврилов, И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский,
С.С. Кирилов, Б.А. Кулаков,
Л.Г. Макаров, Э.Н. Цыганов

БЕСФИЛЬМОВЫЕ ИСКРОВЫЕ КАМЕРЫ
СО СЪЕМОМ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ
МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ЛИНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1965

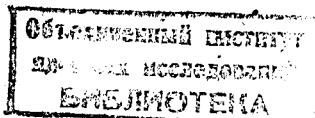
2398

3724/3 88

А.С. Гаврилов, И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский,
С.С. Кирилов, Б.А. Кулаков,
Л.Г. Махаров, Э.Н. Цыганов

БЕСФИЛЬМОВЫЕ ИСКРОВЫЕ КАМЕРЫ
СО СЪЕМОМ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ
МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ЛИНИЙ

Направлено в ПТЭ



Одним из перспективных методов бесфильмового съема информации с искровых камер является метод, основанный на использовании магнестрикционного эффекта ^{/1-3/}. В настоящее время этот метод сравнительно мало изучен. В Лаборатории высоких энергий ОИЯИ было проведено исследование магнестрикционного способа съема информации с проволочных искровых камер и создан действующий бесфильмовый прибор для измерения координат и углов траекторий частиц.

1. Принципы действия

Принцип действия проволочной искровой камеры с выводом информации при помощи линии из магнестрикционного материала легко можно понять из рис. 1. На этом рисунке схематически изображен проволочный электрод, все проволочки которого с одной стороны соединены друг с другом при помощи общей шины. Перпендикулярно к проволочкам, образующим электрод, в непосредственной близости от них помещается тонкая лента из магнестрикционного материала, на которую вблизи одного из ее концов надет приемная катушка (ПК). Концы линии заделаны в резиновые демпферы (Д). Приемная катушка находится в поле поляризующего магнита (М).

При пробое искры в камере, например в точке А, через соответствующую проволоку протекает импульс тока I . Если проволочки электродов имеют диаметр d , а лента расположена на расстоянии Δ от проволок, то напряженность магнитного поля в плоскости ленты равна:

$$H = \frac{I}{2\pi\left(\frac{d}{2} + \Delta\right)}$$

Это магнитное поле обуславливает местное растяжение или сжатие полоски магнестрикционного материала вблизи проволочки, по которой протекает ток.

На рис. 2 показана зависимость относительной деформации $\lambda = \frac{\Delta l}{l}$ от напряженности магнитного поля для никеля. Знак этой деформации (растяжение или сжатие) не зависит от направления магнитного поля, а определяется только свойствами материала. У никеля деформация является сжимающей, у сплавов железа и кобальта - расширяющей. Величина магнестрикции (λ) зависит от намагниченности материала. Для слабых по-

лей деформация пропорциональна квадрату плотности магнитного потока. Однако при наличии достаточно сильного магнитного смещения зависимость деформации от малых приращений магнитного потока можно принять линейной.

Импульс механической деформации распространяется вдоль линии в обе стороны со скоростью звука $v = 0,5$ см/мксек. Импульс, распространяющийся влево, дважды проходя через демпфер (Д), существенно ослабляется, так что его наличием можно пренебречь. Импульс, распространяющийся вправо, через время $t = \frac{x}{v}$ достигает приемной катушки (ПК). В момент прохождения механического импульса под катушкой, магнитная проницаемость ленты, находящейся внутри катушки, изменяется (обратный магнитострикционный эффект), следовательно, изменяется и поток индукции. На рис. 3 показана зависимость начальной магнитной проницаемости никеля от приложенного натяжения. Изменение потока индукции наводит в приемной катушке ЭДС сигнала. Таким образом, измеряя промежуток времени между моментом искры в камере и появлением импульса напряжения на приемной катушке, можно определять координату искры (x).

2. Факторы, определяющие величину выходного сигнала

а) Материалы звукопровода

На амплитуду выходного сигнала магнитострикционной линии влияет не только химический состав материала, но и способ его термической обработки. Известно, что отжиг увеличивает магнитострикционный эффект, но увеличивает при этом и потери в материале. Лучшими материалами для звукопроводов являются никель и сплавы железа с кобальтом: 65% Fe + 35% Co и 50% Fe + 50% Co. Частотные свойства этих материалов примерно одинаковы и мало меняются в зависимости от режима отжига. Наибольшая амплитуда выходного сигнала получается при использовании второго сплава. Для никеля выходной сигнал в $\approx 1,5$ раза, а для первого сплава в ≈ 2 раза меньше. Режим отжига подбирался экспериментально. Наибольшая амплитуда выходного сигнала для сплава с 50% Co, при затухании на длине 60 см в два раза, получается при отжиге в атмосфере гелия при температуре 600°C в течение 30 минут.

Исследование материалов производилось с образцами, выполненными в виде ленты толщиной 100 мк. Максимальная амплитуда выходного сигнала получается при ширине ленты $0,5 \div 1,0$ мм. (При более широких лентах возрастают потери на вихревые токи).

б) Приемная катушка

Форма импульса механического напряжения в магнитострикционной линии показана на рис. 4 а.

При возбуждении магнитострикционной линии коротким импульсом тока, протекающим в одной проволочке, длительность импульса механического напряжения t_F определяется в основном размерами и взаимным расположением проволочки, по которой протекает ток, и магнитострикционной ленты.

Приближенно можно записать:

$$t_F = \frac{l_1}{v}, \text{ где}$$

t_F — длительность импульса механического напряжения, измеренная на уровне 0,1 от максимального значения;

l_1 — расстояние от проволочки, на котором напряженность магнитного поля в плоскости ленты уменьшается в 10 раз;

v — скорость звука в ленте.

Если проволочка диаметром d расположена на расстоянии Δ от магнитострикционной ленты, то

$$l_1 = 4,5 d + 10 \Delta .$$

Обозначим через l_2 эффективную длину приемной катушки (с учетом рассеянных полей). Выходные сигналы в случаях, когда $l_2 \ll l_1$ и $l_2 \gg l_1$, показаны на рис. 4б и 4в. Если $l_2 = l_1$, выходной сигнал на приемной катушке будет иметь форму, показанную на рис. 4г. При этом выброс одной полярности имеет удвоенную амплитуду.

При выборе числа витков преобразователя следует искать разумный компромисс между частотными свойствами схемы и амплитудой импульса.

Параметры катушки экспериментально подбирались при $d = 0,1$ мм и $\Delta = 0,2$ мм. (При выборе величины Δ учитывались требования изоляции магнитострикционной ленты от проволочек).

Лучшие результаты получились с катушкой длиной 2 мм, имеющей 200 витков медного провода $\varnothing 0,02$ мм. При этом выходной сигнал имел форму, показанную на рис. 4 г.

в) Высоковольтный импульс, подаваемый на искровую камеру

Для выяснения требований к импульсам высокого напряжения, подаваемым на искровую камеру, были проведены эксперименты на стенде, схема которого приведена на рис. 5.

Зависимость амплитуды выходного сигнала с приемной катушки от амплитуды тока в проволочке, измеренная при $C_3 = 2500$ пф, $R_2 = 300$ ом, приведена на рис. 6а. Из рисунка видно, что до токов $I \approx 50$ а амплитуда выходного сигнала линейно увеличивается при увеличении тока.

Зависимость амплитуды выходного сигнала от величины зарядной емкости C_3 , измеренная при сопротивлении $R_1 = 50$ ом и $R_2 = 500$ ом, показана на рис. 6б.

На основании выполненных измерений были выбраны элементы конструкции магнитострикционных линий для измерения координат искр в искровой камере. Ниже приведена сводка их основных параметров.

1) Материал звукопровода - лента из сплава 50%Co+50%Fe, толщиной 0,1 мм, шириной 1 мм, отжиг в атмосфере гелия в течение 30 мин при температуре 600°C с последующим медленным охлаждением.

2) Приемная катушка длиной 2 мм намотана на каркасе из полиэтилена толщиной $\approx 0,2$ мм, число витков - 200, диаметр провода 0,02 мм, нагружена на сопротивление $R_2 = 300$ ом.

3) Выходной сигнал имеет форму, показанную на рис. 4 г, длительность переднего фронта $t_n \approx 0,3$ мксек.

4) Амплитуда выходного сигнала зависит от амплитуды тока и приблизительно равна 1 мв/ампер.

5) Затухание сигнала - приблизительно в 2 \pm 2,5 раза на длине 50 см.

3. Прибор для измерения углов и координат траекторий заряженных частиц

Две искровые камеры ИК-1 и ИК-2 располагаются на расстоянии L параллельно друг другу. Расстояние L может изменяться в широких пределах и в каждом конкретном случае выбирается из соображений требуемой угловой точности. Каждая искровая камера имеет два проволочных электрода (проволока из бериллиевой бронзы диаметром 0,1 мм, шаг намотки - 1 мм). Проволочки одного электрода расположены перпендикулярно проволочкам другого. Все проволочки каждого электрода соединяются с одной стороны общей шиной. Вблизи каждой из шин в непосредственной близости от проволочек электрода помещается магнитострикционная лента. Лента изолирована от проволочек прокладкой из майлара толщиной 200 мк. Снаружи лента прижимается бруском из алюминия по всей длине равномерно. Ленты и накладки, помещенные как на "земляном", так и на высоковольтном электроде, заземляются. Концы ленты закреплены в демпферах (Д). (С каждой стороны по два демпфера). Приемные катушки (ПК) размещаются на расстоянии 7,5 см от чувствительного объема камер. Вблизи каждой катушки закрепляется постоянный магнит размером 10 x 20 x 5 мм³ (см. рис. 7).

Электроды разделены рамкой толщиной 8 мм, изготовленной из эпоксиды с кварцевым наполнением, армированной нержавеющей сталью. Рабочая площадь электродов 500 мм и 500 мм.

От наружного объема камеры изолированы при помощи майлара толщиной 100 мк. Камеры имеют по два ввода, через которые осуществляется заполнение их рабочим газом (смесь 75% Ne и 25% He).

Изготовленные камеры были предназначены для измерения углов отклоненных от пучка частиц и должны по условиям эксперимента располагаться в пучке π^- -мезонов высокой интенсивности ($\approx 10^5$ частиц за цикл, что соответствует средней нагрузке $\approx 5 \times 10^6$ частиц/сек). Для того, чтобы сделать камеры нечувствительными к пучковым частицам, в центре камеры между электродами помещен цилиндр из пенопласта, покрытого эпоксидной эмалью (диаметр - 70 мм, высота - 8 мм).

Внешний вид искровых камер, укрепленных на металлической плите на расстоянии 35 см друг от друга, показан на рис. 8.

Блок-схема прибора приведена на рис. 9.

Приемные катушки ПК-1 и ПК-2 используются для измерения X и Y координат искры в камере ИК-1, приемные катушки ПК-3 и ПК-4 - для измерения X и Y координат в камере ИК-2. Сигналы с приемных катушек подаются через кабель РК-19 длиной = 15 м на стробируемые усилители (УС-1 - УС-4). Эти усилители для защиты от проникновения импульса с тиратронной схемы нормально блокированы и открываются только на время ≈ 150 мксек через 10 \pm 15 мксек после импульса запуска. Для устранения временного разброса, вызываемого непостоянством амплитуды сигналов с линии, усилитель работает в режиме ограничения.

С выхода усилителей импульсы поступают на входы схемы измерения временных интервалов (СИБ), состоящей из четырех идентичных каналов и генератора импульсов с частотой повторения 10⁷ имп/сек. Каждый канал включает в себя логическую систему, которая управляет длительностью открывания схемы пропускания таким образом, что схема пропускания открывается первым приходящим импульсом и закрывается следующим. Если на вход канала поступило более двух импульсов, то вырабатывается специальный импульс запрета. На вход схемы пропускания подаются импульсы от генератора, а ее выход соединен с пересчетной схемой емкостью 10³ имп (ПС-1000).

Для измерения X и Y координат искр в двух искровых камерах используются все четыре канала схемы измерения временных интервалов. В качестве первого импульса, открывающего схему пропускания, во всех каналах используется запускающий импульс. Закрывание схем пропускания осуществляется импульсами с приемных катушек ПК-1 и ПК-4 соответственно.

Для измерения углов (точнее разности координат $(x_2 - x_1)$ и $(y_2 - y_1)$) искр в камерах ИК-1 и ИК-2) используются только два канала. На вход одного канала подаются импульсы с ПК-1 и ПК-3, на вход другого - с ПК-2 и ПК-4 соответственно.

Таким образом, в первом канале измеряется величина $x_2 - x_1$, а во втором - $y_2 - y_1$. Показания пересчетных схем каждого из каналов печатаются на бумажной ленте при помощи стандартного цифрочечного блока.

Если в каком-либо из каналов был выработан импульс запрета, то показания пересчетных схем не печатаются.

4. Результаты измерений

Испытания камер проводились от космических частиц. Исследовались эффективность и точность измерения координаты искры. Камеры были наполнены неон-гелиевой смесью (75% Ne + 25% He) за 20 суток до проведения испытаний.

На рис. 10 показана схема экспериментальной установки для проведения измерений. Космические частицы регистрировались телескопом из спинтилляционных счетчиков С-1 и С-2. Импульс высокого напряжения на камеру вырабатывался от сигналов со схемы совпадений (СС). Одновременно с выхода схемы совпадений подавался импульс на запуск схемы измерения временных интервалов (СИБ), который открывал схему пропускания. Схема пропускания закрывалась импульсом с приемной катушки магнотриксционной линии. Регистрировались показания пересчетной схемы ПС-1000. Одновременно производилось фотографирование объема искровой камеры через проволочный электрод.

Был произведен 161 запуск искровой камеры. При этом на всех фотографиях зарегистрированы искры.

Координаты искр измерялись на измерительном проекторе с ценой деления 0,4 мм в объеме камеры (определялся центр изображения искры). При наличии на фотографии нескольких изображений искр измерялась координата ближайшей к приемной катушке искры.

На рис. 11 построена гистограмма отклонений измеренных значений координаты искры (y) от прямой линии, вычисленной по методу наименьших квадратов (y_0).

Суммарная среднеквадратичная ошибка $\sigma_{\text{общ}}$ в измерении координаты y по фотографиям и показаниям измерительной схемы составляет 0,63 мм.

$$\sigma_{\text{общ}} = \sqrt{\sigma_{\text{фот}}^2 + \sigma_{\text{стр}}^2}, \text{ где}$$

$\sigma_{\text{фот}}$ — ошибка в измерении координат искр по фотографиям.

$\sigma_{\text{стр}}$ — ошибка в измерении координат искр по показаниям измерительного прибора.

5. З а к л ю ч е н и е

Бесфильмовые искровые камеры со съемом информации при помощи магнотриксционной ленты являются простым и удобным прибором для измерения координат и углов траекторий частиц, обладающим высокой точностью и эффективностью.

Изготовленные искровые камеры содержат малые количества вещества по пучку ($2 \cdot 10^{-3}$ т —единиц), что позволяет получать точность измерения угла для частиц с импульсом 4 Гэв/с = 0,25 мрад (при расстоянии между камерами = 2 м) и для частиц с импульсом 10 Гэв/с = 0,1 мрад (при расстоянии между камерами = 5 м).

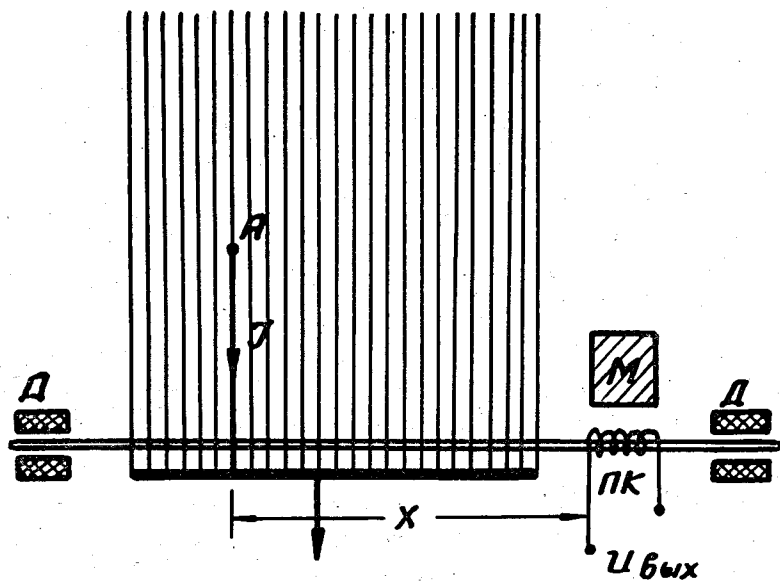
Авторы благодарят А.С. Филиппова, А.С. Бурова, В.А. Пугачевича, В.Я. Рубцова, Т.С. Нигманова, Д.В. Уральского В.Ф. Орлова, В.П. Грачева за изготовление камер; Ю.А. Малова за проведенную работу по отжигу магнотриксционной ленты; П.И. Филиппова, В.С. Евтисова, В.Д. Кондрашова, А.А. Кузина — за разработку и изготовление электронной аппаратуры.

Авторы выражают благодарность В.И. Векслеру, И.В. Чувилу, Ю.А. Каржавину, Н.И. Павлову за постоянное внимание и интерес к работе.

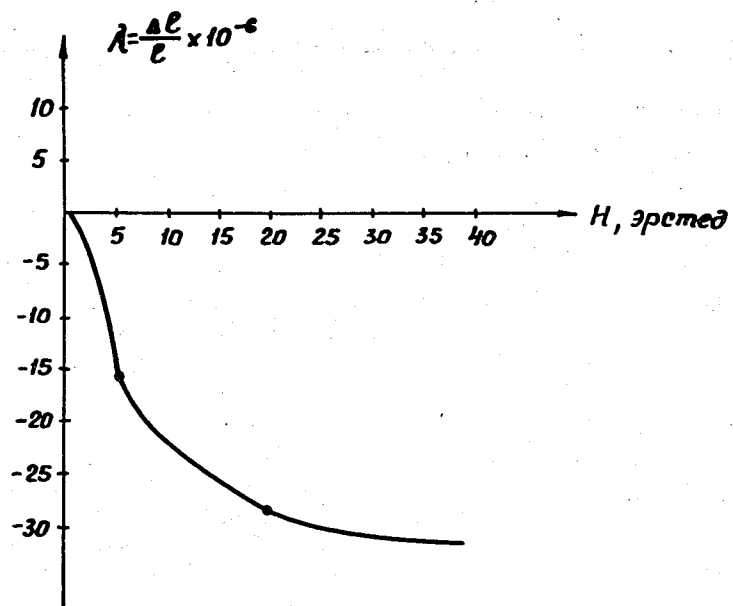
Л и т е р а т у р а

1. Proceedings of the Informal Meeting on Film-less Spark Chamber Techniques and Associated Computer Use. CERN 64-31.
2. V.Perez Mendez and J.M.Pfab. Nuclear Instr. and Meth., v. 33 (1965), N-1, p. 141.
3. S.Miyamoto. Nuclear Instr. and Meth., v. 35 (1965), N-2, p. 323.

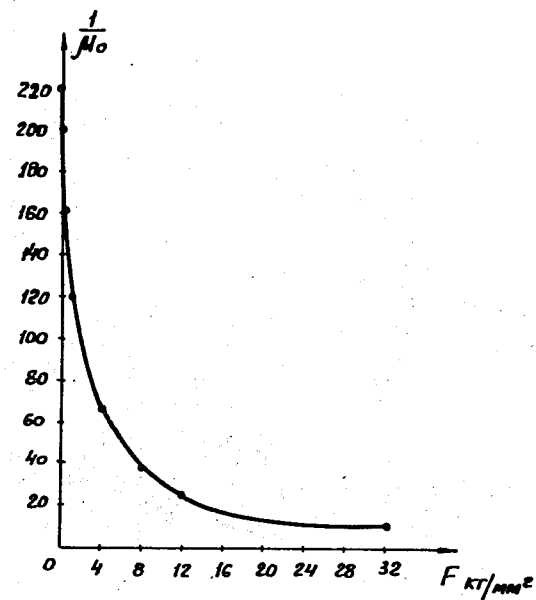
Рукопись поступила в издательский отдел
18 октября 1965 г.



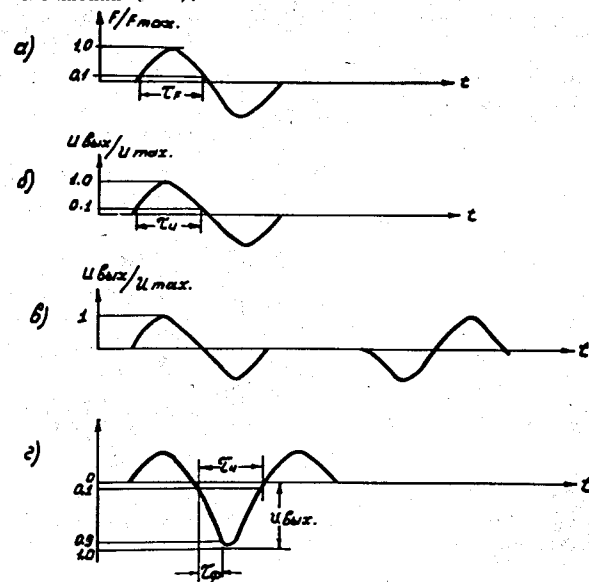
Р и с. 1. Принцип действия проволочной искровой камеры с выводом информации при помощи линии из магнитострикционного материала.



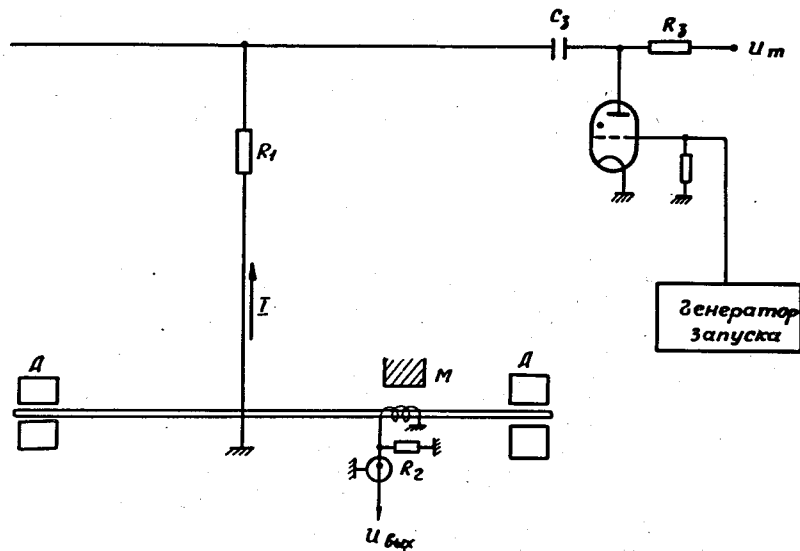
Р и с. 2. Зависимость магнитострикции ($\lambda = \frac{\Delta l}{l}$) в никеле от напряженности магнитного поля.



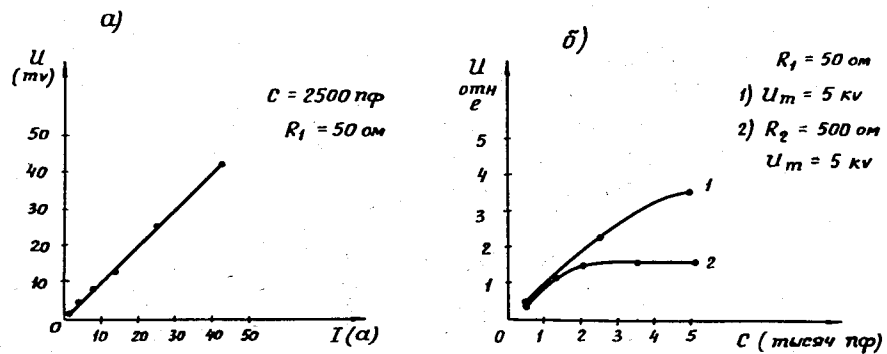
Р и с. 3. Зависимость начальной магнитной проницаемости (μ_0) никеля от натяжения (F).



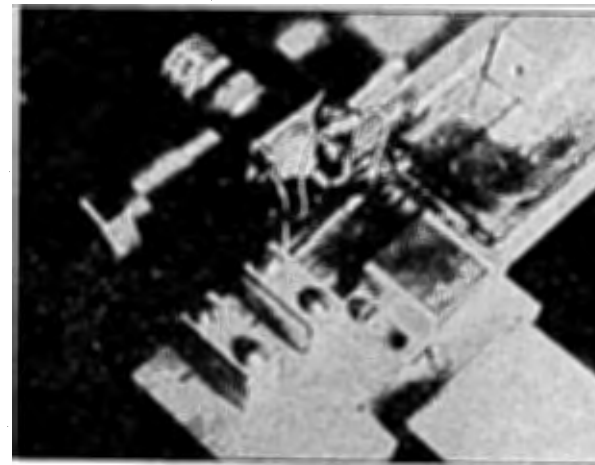
Р и с. 4. а) Форма импульса механического напряжения (F) в магнитострикционной линии, б) форма выходного сигнала при $l_2 < l_1$, в) форма выходного сигнала при $l_2 > l_1$, г) форма выходного сигнала при $l_2 = l_1$.



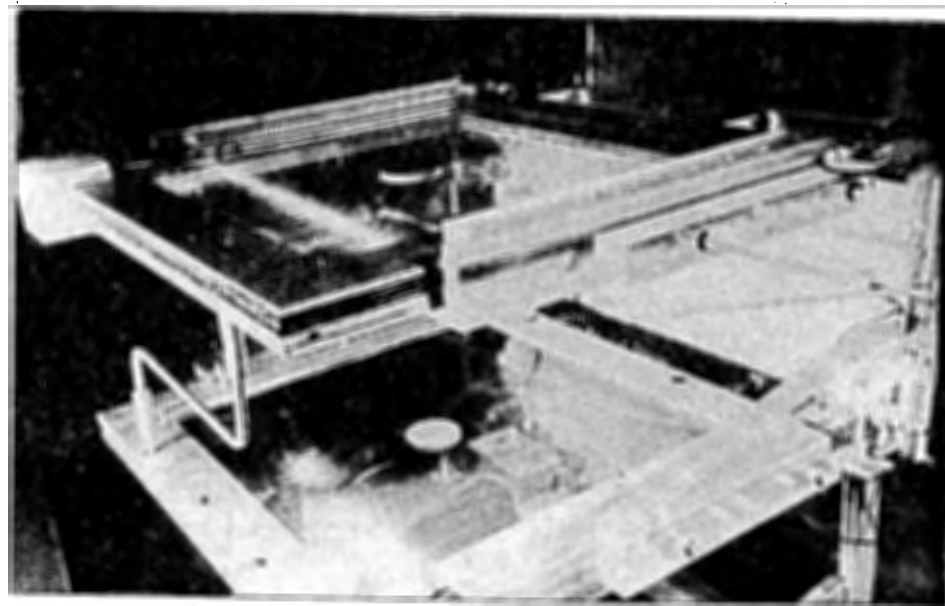
Р и с. 5. Схема стенда для исследования выходного сигнала с магнитострикционной линии.



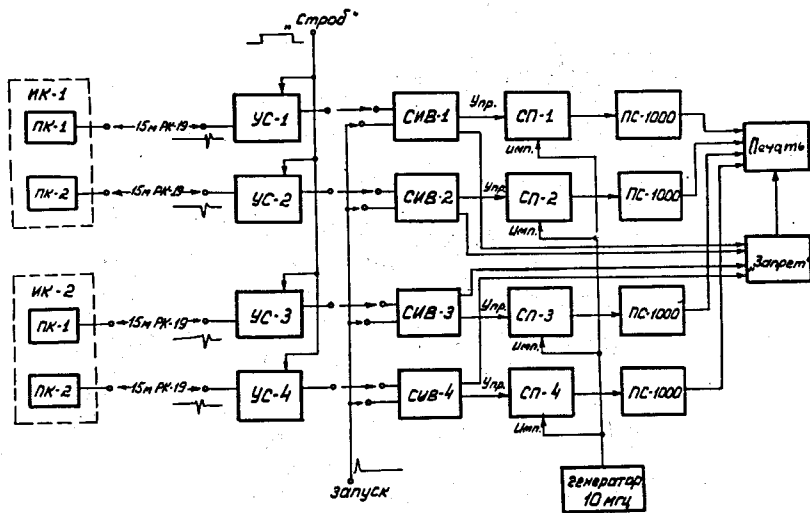
Р и с. 6. а) Зависимость амплитуды выходного сигнала от тока.
б) Зависимость амплитуды выходного сигнала от величины разрядной емкости.



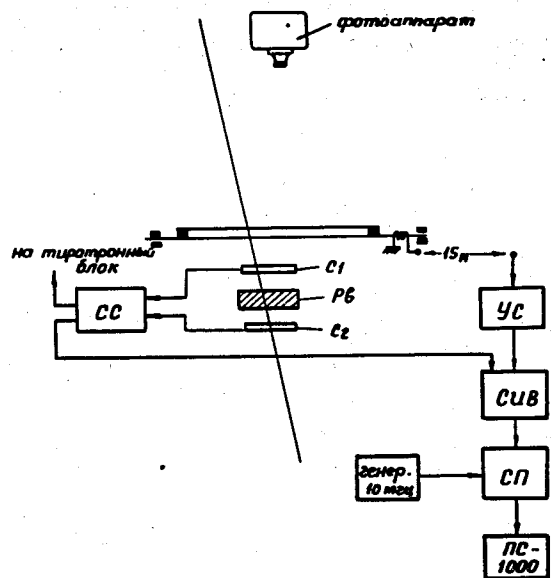
Р и с. 7. Конструкция узла съема выходного сигнала с искровой камеры.



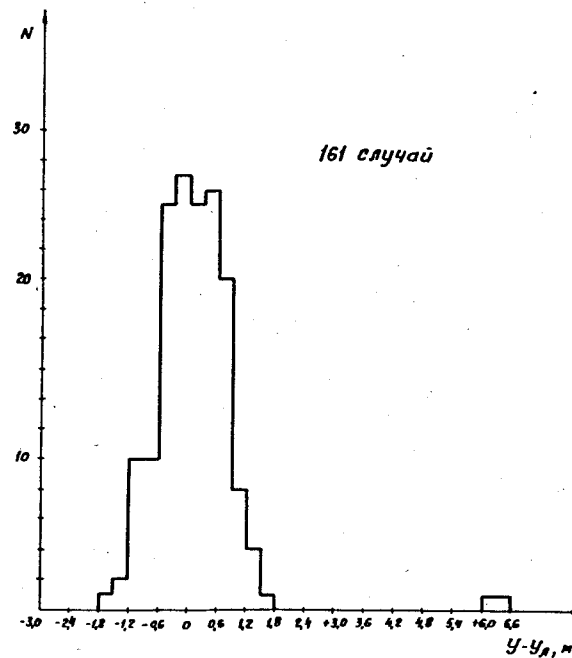
Р и с. 8. Внешний вид искровых камер.



Р и с. 8. Блок-схема прибора для измерения углов и координат траекторий заряженных частиц.



Р и с. 10. Схемa экспериментальной установки для испытаний искровых камер.



Р и с. 11. Гистограмма отклонений измеренных значений координат искр (y) от прямой линии, вычисленной по методу наименьших квадратов (y_0).