

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-МЭ-8(68)

А. П. АЛИХАНЬЯН, А. С. АЛЕКСАНЫАН, Г. А. ВОРОБЬЁВ
Р. Л. КОВАЛОВ, В. К. КРОЛЬ, Н. С. РУДЕНКО, В. И. ЦВЕТКОВ

ГЕНЕРАТОР НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ
ПИТАНИЯ ИСКРОВЫХ КАМЕР

ЕРЕВАН

1968

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-МЭ-3(68)

А.И.АЛИХАНЬЯН, А.С.АЛЕКСАНИ, Г.А.ВОРОБЬЁВ
Р.Л.КОВАЛОВ, В.К.КРОЛЬ, Н.С.РУДЕНКО, В.И.ЦВЕТКОВ

ГЕНЕРАТОР НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ
ПИТАНИЯ ИСКРОВЫХ КАМЕР

ЕРЕВАН

1968

A NANSECOND PULSE GENERATOR FOR SPARK CHAMBERS

A.I.Alikhanian, A.S.Alexanian, G.A.Vorobiov, R.L.Kavalov, V.K.Krol, N.S.Rudenko, V.I.Tsvetkov.

It is described a pulse generator giving pulses up to 600kv with a front of 2 nsec. It includes a Marx generator, an accumulation condensator, a discharge chamber, a transfer line, and a strip line where the spark chambers are situated.

The generator is powerful (the discharge is 1000 pF) and the pulse length can be changed with good accuracy by a special two-electrode discharger.

The spark chambers were investigated with 10^4 - $25 \frac{\text{kv}}{\text{cm}}$ electrical fields. At big tensions the streamer velocity rises and the demand for stable pulse length and pulse height becomes critical.

За последние несколько лет в исследованиях взаимодействий элементарных частиц нашли широкое применение искровые камеры. Этот интерес особенно возрос после экспериментов по двухэлектродной искровой камере в магнитном поле [1,2,3], а также работам по исследованию искровой камеры в стримерном режиме [4,5,6,7].

Для дальнейшего выяснения характеристик искровых камер возникла необходимость изготовления высоковольтных генераторов, вырабатывающих импульсы с наносекундными фронтами и амплитудами в несколько сот киловольт.

В данной работе приводится описание генератора импульсов, напряжением до 600 кв с передним фронтом ~ 2 нсек. Генератор состоит из генератора Аркадьева-Маркса (генератор импульсов напряжений - ГИН), накопительного конденсатора и разрядной камеры (наносекундный генератор импульсов напряжений - НГИН), передающей линии к полосковой линии.

На рис.1 приведена принципиальная схема генератора.

Схема замещения такого генератора представлена на рис.2.

Контур $abcd$ имеет минимальную индуктивность, так как все элементы, входящие в него, выполнены коаксиальными. При срабатывании разрядника ёмкость C_1 будет разряжаться на контур $abcd$, выделяя на нагрузку с сопротивлением ρ импульс с крутым фронтом. Так как индуктивность контура $abcd$ во много раз превосходит индуктивность разрядного контура $abcd$, то на нагрузку в первый момент основной ток будет давать C_1 , а не ударная ёмкость генератора Аркадьева-Маркса. Ёмкость наносекундного генератора заряжается от импульса, вырабатываемого генератором Аркадьева-Маркса. Благодаря импульсной зарядке накопительного конденсатора, возможно использование в нем в качестве диэлектрика жидкости с большой диэлектрической постоянной, имеющей сравнительно большую электропроводность.

Каждая ступень генератора Аркадьева-Маркса заряжается от выпрямительной установки до необходимого напряжения. При поджиге тригatronа генератор срабатывает и заряжает ёмкость $C_г$, на которой происходит увеличение напряжения за счет колебательного характера процесса зарядки в 1,7 раз относительно выходного напряжения ГИНа. При срабатывании коммутирующего разрядника наносекундного генератора импульс напряжения с фронтом $2 \cdot 10^{-9}$ через передающую линию поступает на полосковую линию, на разомкнутом конце которой удваивается по амплитуде. Аналогичный генератор описан в работе [8].

Ниже приводится более подробное описание основных узлов генератора.

ГЕНЕРАТОР АРКАДЬЕВА-МАРКСА

Генератор Аркадьева-Маркса (ГИН) состоит из 7 ступеней и собран на конденсаторах типа КБГ-П-30-0,1. Общее напряжение генератора составляет 210 кв, ёмкость в ударе - 12 500 пф. Для повышения частоты срабатывания ГИНа и уменьшения активных потерь, заряд конденсаторов осуществляется через индуктивности.

Выпрямительное устройство, двухполупериодное, состоит из высоковольтного трансформатора НОМ-10 и кенотронов типа В1-0,1 - 40. Шаровые разрядники расположены на двух винипластовых стойках, на которых размещены и зарядные индуктивности. Одна из стоек может вращаться, что позволяет изменять межэлектродное расстояние разрядников ГИНа. Для обеспечения стабильности их срабатывания при максимальном раздвижении электродов диаметр шаров был выбран 20 мм. Разрядники взаимно подсвечивают друг друга. Разрядное сопротивление составляет 1,5 ком (слабый раствор $NaCl$). При большем разрядном сопротивлении длительность импульса ГИНа становится большой и жидкость в конденсаторе $C_г$ пробивается.

Запуск генератора Аркадьева-Маркса осуществляется тригatronом, собранным на лампе ТГИ I-150/10.

НАКОПИТЕЛЬНЫЙ КОНДЕНСАТОР И РАЗРЯДНАЯ КАМЕРА НАНОСЕКУНДНОГО ГЕНЕРАТОРА

Для получения фронтов ~ 2 нсек накопительный конденсатор $C_г$ и разрядный контур, представляющие собой наносекундный генератор (НГИН), должны иметь малую собственную индуктивность.

Исходя из конструктивных соображений, а также для уменьшения паразитных ёмкостей и индуктивностей, разрядная камера размещена коаксиально внутри накопительного конденсатора $C_г$.

Конденсатор $C_г$ выполнен из двух коаксиальных цилиндрических обкладок. Зазор между обкладками равен 2,5 см и заполнен глицирином ($\epsilon = 39,1$). При диаметре внутренней обкладки 15 см и длине 13 см ёмкость конденсатора ~ 1000 пф.

Длина конденсатора $C_г$ критична и должна быть меньше удвоенной длительности фронта импульса, т.к. в противном случае при коротких фронтах отражения, возникающие в ёмкости $C_г$, искажали бы вершину импульса.

Коммутирующий искровой разрядник, через который накопительный конденсатор разряжается на линию, работает в атмосфере азота.

Величина давления в разрядной камере определялась экспериментально. Минимальная длительность переднего фронта получается при давлении ~ 11 ат. Однако, окончательное давление было принято равным 16 ат, для предотвращения перекрытия по поверхности изолятора, находящегося в разрядной камере, при максимальном напряжении генератора.

Благодаря наличию уплотнений, расстояние между электродами разрядника может регулироваться без нарушения давления в разрядной камере.

Длительность фронта импульса не меняется с изменением расстояния между электродами, т.к. происходит пропорциональное изменение напряжения срабатывания разрядника. Этим регулируется амплитуда генерируемого импульса.

На рис. 3 приведены осциллограммы, показывающие процесс зарядки накопительной ёмкости от ГИНа. На осциллограмме показан импульс на выходе зарядного ГИНа с подключением накопительной ёмкости - (а) и без - (б). Амплитуда первого колебания в 1,7 раз превосходит напряжение, даваемое зарядным ГИном.

ПЕРЕДАЮЩАЯ ЛИНИЯ

Передающая коаксиальная линия выполнена из латунной трубы и стержня, диаметром 80 мм и 8 мм соответственно. В качестве диэлектрика использовано трансформаторное масло ($\epsilon = 2,2$). При временах $\sim 10^{-8}$ сек трансформаторное масло

имеет более высокую электрическую прочность [9]. Волновое сопротивление передающей линии равно 86 ом. Длина линии 4 м - выбиралась из соображений, чтобы импульс с максимальной длительностью 40 нсек на нагрузке генератора не искажался отраженными импульсами от другого конца линии.

На конце линии в специальном патрубке помещен ёмкостной делитель напряжения для осциллографического наблюдения формы импульса. Делитель изготовлен из медной фольги толщиной 0,5 мм, которая изолирована от внешней трубы тонким слоем бумажно-масляной изоляцией. Постоянная времени данного делителя равна $\tau = 25$ нсек, что в 3,6 раз меньше постоянной спада импульса генератора. Таким образом, на осциллографе импульс будет наблюдаться с более крутым спадом, чем он есть в действительности, но с неискаженным передним фронтом.

На рис. 4 приведена осциллограмма напряжения, выдаваемого генератором с накопительной ёмкостью. Период градуировочных колебаний 2 нсек.

ПОЛОСКОВАЯ ЛИНИЯ И КОАКСИАЛЬНО-ПОЛОСКОВЫЙ ПЕРЕХОД

Искровая камера состоит из стеклянной коробки размерами 20x40x80 см, наполненной неоном до давления 760 мм Hg. Эта камера помещалась в плоско-параллельной полосковой линии, представляющая собой две симметричные пластины из дюралюминия. Расстояние между ними и ширина выбирались таким образом, чтобы волновое сопротивление равнялось 86 ом.

Для неискаженной передачи формы импульса с сохранением переднего фронта и амплитуды, необходим согласованный переход от коаксиальной передающей линии к полосковой. Известно несколько типов согласованных переходов. Одним из них является переход под прямым углом (угол между полосковой и коаксиальной линией равен 90°) рис. 1. На рис. 5 приведена осциллограмма импульса напряжения с переходом под прямым углом. На рис. 6(а) приведен плавный переход от коаксиальной передающей линии к полосковой. Он состоит из участка коаксиальной конической линии и участка, представляющего собой плавную развертку

конической линии в полосковую. Задаваясь высотой конической линии $h = 25$ см и расстоянием между внутренним и наружным конусами $C = 20$ см по табулированным данным [10], определяли углы для внутреннего и внешнего конусов ($\theta_1 = 6^\circ 41'$ и $\theta_2 = 29^\circ$). При этом $d_1 = 6$ см и $d_2 = 35$ см. На рис. 6(б) приведена осциллограмма импульса напряжения с плавным переходом. Из рис. 5 и 6(б) видно, что форма импульса передается удовлетворительно обоими типами переходов. Необходимо отметить, что переход под прямым углом более прост в изготовлении и занимает меньше места.

В одном электроде полосковой линии имеется прямоугольное окно, затянутое металлической сеткой для фотографирования частиц в искровой камере вдоль приложенного электрического поля. На другом электроде находится ёмкостной делитель, с помощью которого и осциллографов ОК-19М2 или И-2-7 снимается осциллограмма высоковольтного импульса.

УСТРОЙСТВА, РЕГУЛИРУЮЩИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИМПУЛЬСА

Для формирования в искровой камере стримерных следов частиц (длиной несколько мм) высоковольтный импульс необходимо обрывать через определенный интервал времени. Обрыв длительности высоковольтного импульса производили следующими способами:

1. С помощью шарового воздушного шунтирующего разрядника, закрепленного непосредственно на полосковой линии [5, 6, 7]. При этом длина стримеров в искровой камере нестабильна и меняется от 2 мм до десятка и более мм.

2. С помощью шунтирующей камеры, разряд в которой шунтируется самой регистрируемой частицей [7]. Изменяя давление и состав газа в шунтирующей камере, можно регулировать длительность высоковольтного импульса от 5 до 30 нсек.

3. С помощью управляемого срезающего двухэлектродного разрядника под давлением (азот $p = 16$ ат). Схематическое устройство двухэлектродного разрядника в коаксиальном исполнении показано на рис. 7(а). Разрядник устанавливается непосредственно перед полосковой линией. Стержень 6 является

высоковольтным электродом разрядника. Вторым электродом служит подвижной шар 5, выполненный в виде тригatrona. Предварительная подсветка промежутка искрой устраняет статистическое запаздывание разряда. Была снята зависимость стабильности длительности обрезаемого импульса от времени среза (от перенапряжения). При получении импульсов меньшей длительности разрядный промежуток уменьшается, следовательно, перенапряжение на промежутке увеличивается. Разброс во времени срабатывания разрядника составляет: $10 \pm 0, 13 \pm 1, 23 \pm 4, 35 \pm 12$ нсек (осциллограф ОК-19М2). Длительность заднего фронта импульса при этом составляет 2 нсек, рис. 7(б).

ОБСУЖДЕНИЕ

В отличие от сконструированных ранее высоковольтных генераторов данный генератор обладает рядом преимуществ, необходимых для исследования характеристик искровой камеры, работающей в стримерном режиме, а именно: на полосковую линию, где помещены искровые камеры, подается сравнительно большая мощность (разряжается 1000 пф), а также с хорошей точностью регулируется длительность высоковольтного импульса (с помощью двухэлектродного разрядника). Генератор запускается импульсом со схемы совпадения, регистрирующей частицы космического излучения, прошедшей через телескоп счетчиков, расположенных над и под камерой. След в камере фотографировался в двух проекциях объективами $I : 1,5$ (вдоль поля) и $I : 1,5$ (перпендикулярно полю) на фотопленку чувствительностью 1300 единиц ГОСТ.

Одновременно производилось фотографирование осциллограмм высоковольтного импульса на И.К. с помощью ОК-19М2.

В одной серии экспериментов на конце полосковой линии ставилось согласующее сопротивление. При этом напряженность поля в искровой камере уменьшалась вдвое. В основном исследования проводились при разомкнутом конце полосковой линии. Получены следующие результаты:

1. Применяя различные типы срезающих устройств, установили, что наилучшим, в смысле стабильности длительности обрезаемого импульса во времени и заднего фронта, оказался двух-

электродный разрядник под давлением. Этот разрядник работает стабильно и стримеры треков частиц имеют разброс от 2 до 6 мм.

Шунтирующая камера работает стабильно в течение нескольких сот прохождений частиц, после чего рабочий газ портится, так как основная доля мощности подаваемого высоковольтного импульса выделяется в ней. После этого шунтирующая камера работает нестабильно.

2. Необходимо отметить, что стримеры от одиночных частиц, проходящих по вертикали, неодинаково яркие по длине трека. Яркость постепенно уменьшается сверху вниз. Очевидно, это обуславливается неоднородностью электрического поля в И.К. в результате отражений от разомкнутого конца полосковой линии. Этот эффект не наблюдается при прохождении нескольких частиц.

Сравнивая яркость стримеров от одиночных частиц и ливней, мы пришли к выводу, что во втором случае стримера более яркие (~ 2 раза).

Объяснить это явление можно, по всей видимости, следующим образом: когда через искровую камеру проходят одновременно несколько частиц, происходит следующее:

а) высоковольтный импульс, подаваемый на полосковую линию, подсаживается и происходит выравнивание поля по всей камере,

б) имеется некоторая подсветка частиц друг другом, которая влияет на яркость треков.

3. В имеющихся в настоящее время искровых камерах яркость стримера недостаточна и поэтому при фотографировании приходится применять очень светосильные объективы $\sim 1,5$, что делает невозможным фотографирование камер больших объемов.

Для выяснения влияния напряженности электрического поля на яркость стримера, на искровую камеру подавали импульсы напряженностью 10, 15, 20, 25 кв/см. При этом соблюдалось условие, чтобы длина стримера при всех исследованиях была одинакова. Полученная зависимость показывает, что при линейном возрастании напряженности поля, яркость стримера увеличивается нелинейно, что не противоречит работе [II]. Необходимо отметить и то обстоятельство, что при больших напряженностях ~ 20 кв/см и выше скорость стримера возрастает, и требования к длительности и стабилизации высоковольтного импульса ста-

новится очень критичным.

В заключение авторы выражают благодарность Б.А.Долгошеину за обсуждения и помощь при выполнении данной работы, а также Л.А.Жировой, Н.Х.Арутюняну и американским коллегам В.К.Фишер Дж.Фишеру, приложившим много усилий при проведении экспериментов.

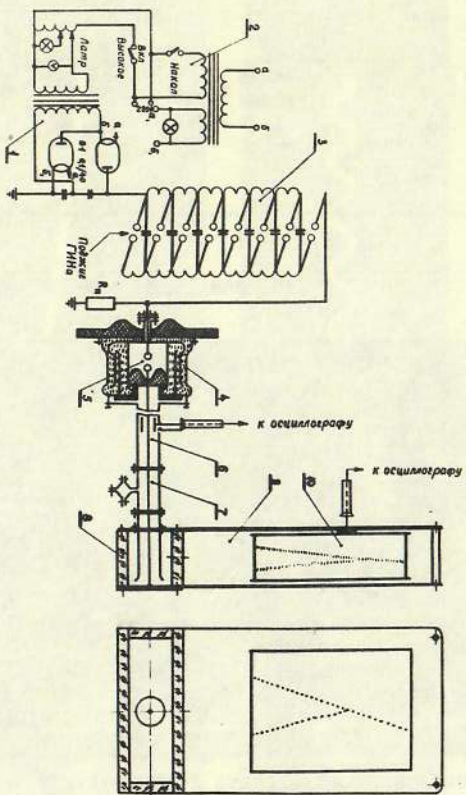


Рис. 1. Принципиальная схема генератора. 1-трансформатор марки НОМ-10, 2-накальный трансформатор, 3-генератор Аркадьева-Маркса, 4-накопительный конденсатор, 5-разрядная камера, 6-передающая линия, 7-срезающий разрядник, 8-согласованный переход от неокисляющей к подосковой, 9-подосковая линия, 10-искровая камера.

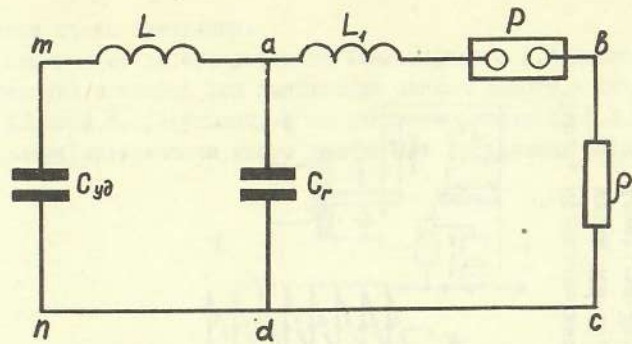


Рис.2. Схема замещения генератора.

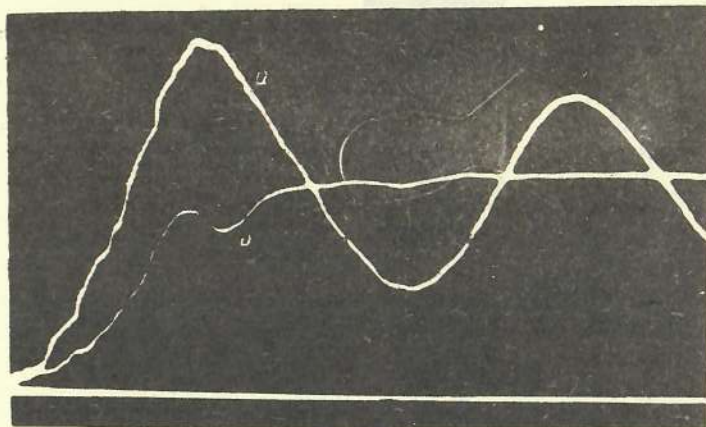


Рис.3. Осциллограмма зарядки накопительной ёмкости от ГИНа с подключением накопительной ёмкости (а) и без (б).

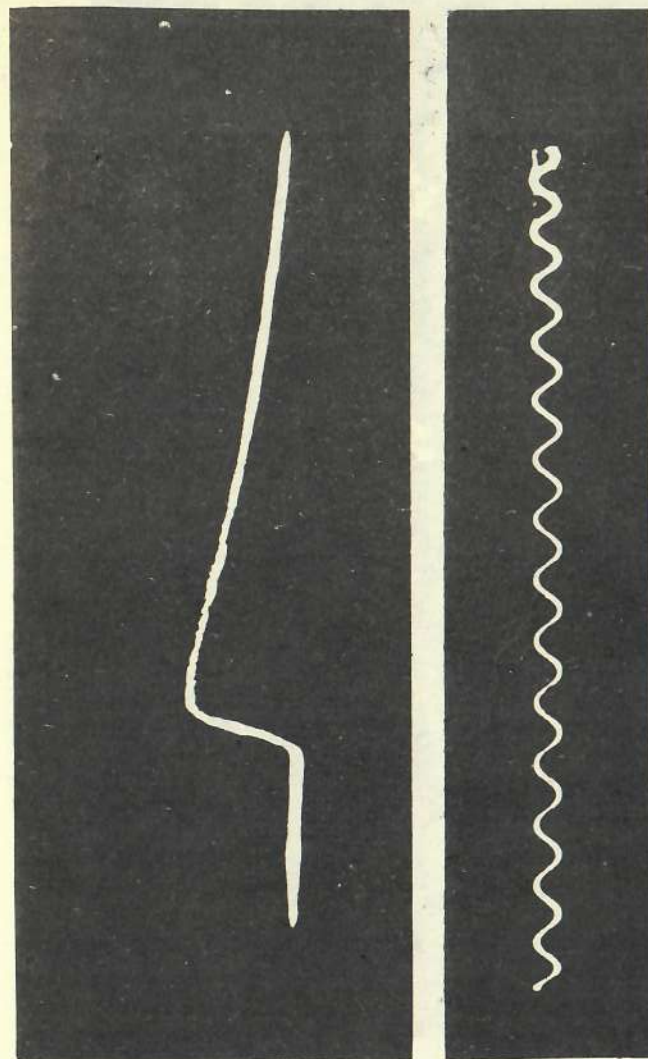


Рис.4. Осциллограмма импульса напряжения, выдаваемого генератором с накопительной ёмкостью.

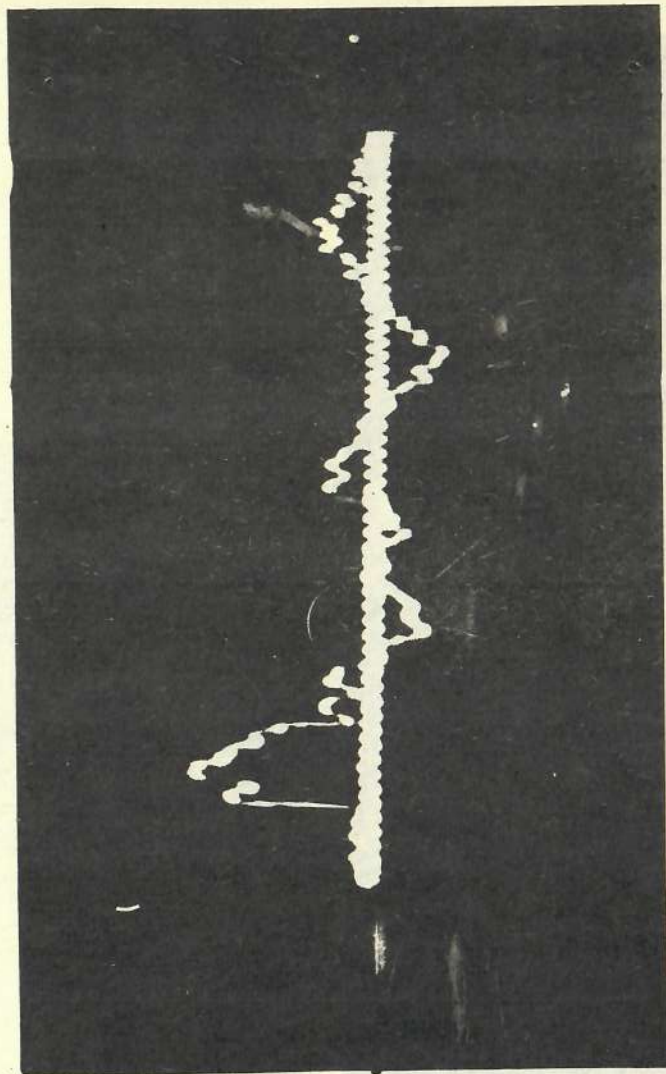


Рис.5. Осциллограмма импульса напряжения с переходом под прямым углом.

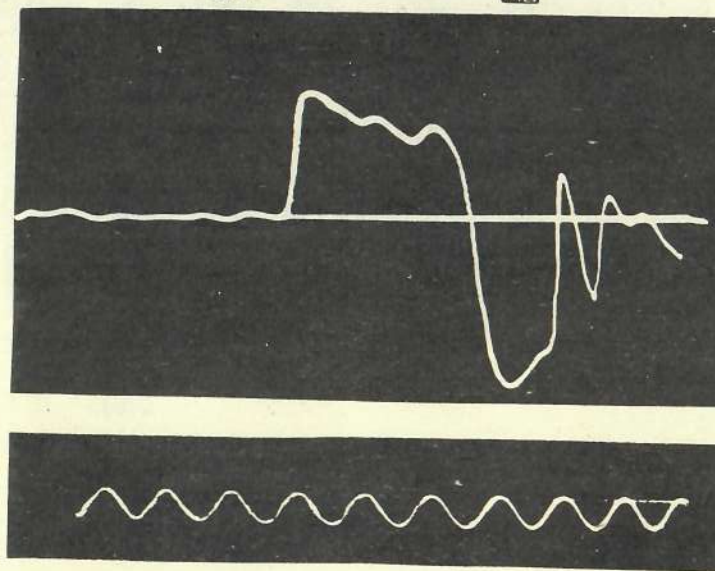
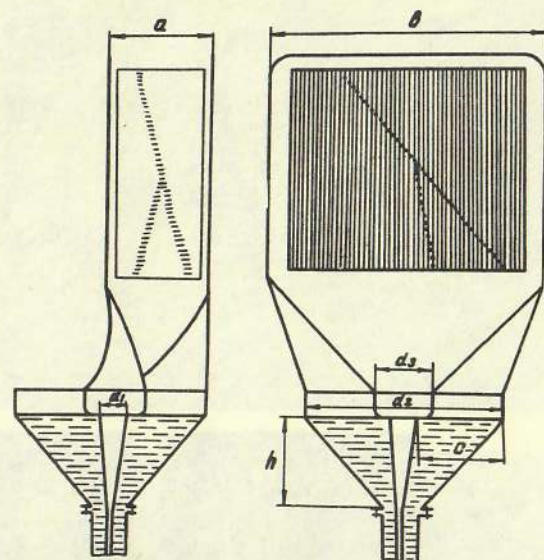


Рис.6. Плавный переход от коаксиальной передающей линии к полосковой (а) и осциллограмма импульса напряжения (б).

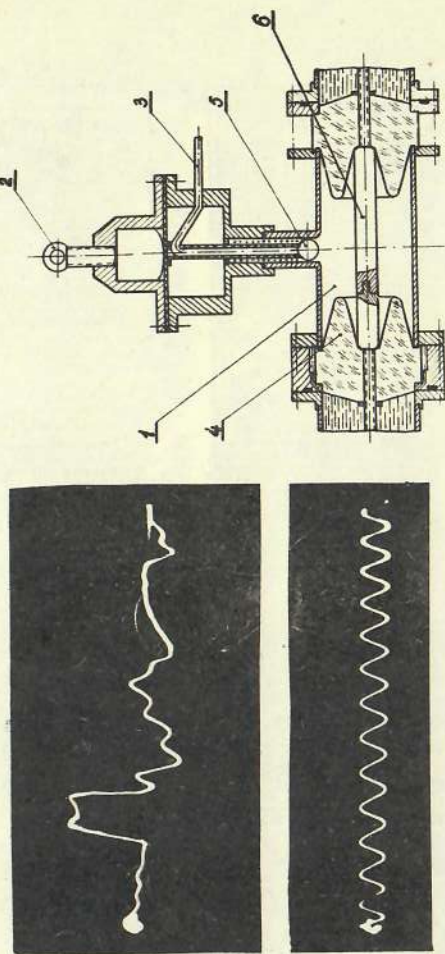


Рис. 7. Схема управляемого срезающего разрядника под давлением (а) и осциллограмма импульса напряжения (б).

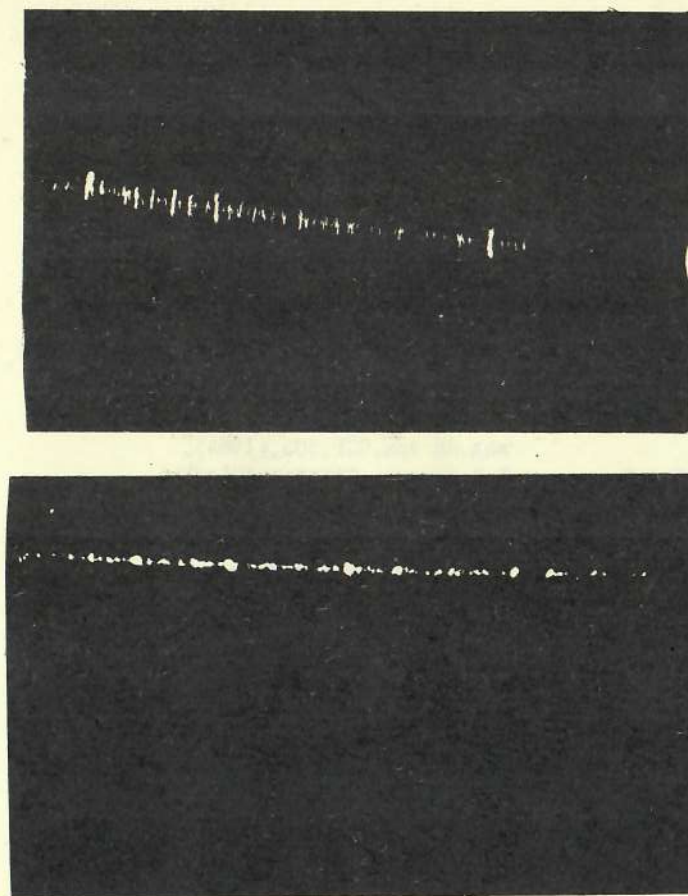


Рис. 8. Фотография частиц космического излучения перпендикулярно электрическому полю (а) и параллельно (б).

ЛИТЕРАТУРА

- I. A.I. Alikhanian, Loeb Lecture Notes, Harvard University, (1965).
 2. А.И.Алиханьян, сб. "Вопросы физики элементарных частиц", изд. АН Арм. ССР, 553, (1963).
 3. А.И.Алиханьян, сб. "Вопросы физики элементарных частиц", изд. АН Арм. ССР, 651, (1965).
 4. Б.А.Долгошеин, сб. "Вопросы физики элементарных частиц", изд. АН Арм. ССР, 503, (1964).
 5. Б.А.Долгошеин, Б.И.Лучков, ЖЭТФ, 46, 1, (1964).
 6. Г.Е.Чиковани, В. Н.Ройнишвили, В.А.Михайлов, ЖЭТФ, 46, 4 (1964).
 7. А.С.Александрян, Б.А.Долгошеин, Б.И.Лучков и др. кн. "Физика элементарных частиц", Атомиздат, 69, (1966).
 8. Г.А.Воробьев, Н.С.Руденко, ПТЭ I, (1965).
 9. Н.С.Руденко, В.И. Цветков, ЖТФ, 35, 10, 1840, (1965).
 10. Х. Мейнке и Ф. Гундлах, Радиотехнический справочник, т. I, ГЭИ, (1960).
- II. F.Buio, A.Boyarski, K.Diebold, A.Odian, B.Richter, F.Villa - SLAC-Pub, 140, Sept. (1965).