

СЗ44.18

Б-934



18/IV-64

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

---

М.М. Бутслов, В.И. Комаров, О.В. Савченко

P-1619

ИЗОТРОПНАЯ РАЗРЯДНАЯ КАМЕРА  
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ТРЕКОВ  
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

ЖЭТФ, 1964, т.46, в.6, с.2245-2246.

М.М. Бутслов, В.И. Комаров, О.В. Савченко

Р- 1819

СЗ44.18

Б- 934

ИЗОТРОПНАЯ РАЗРЯДНАЯ КАМЕРА  
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ТРЕКОВ  
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Направлено в ПТЭ

Дубна 1964

2393/3 чф.

В настоящее время в экспериментах с элементарными частицами высоких энергий широкое распространение получили искровые камеры. Приборы этого типа регистрируют треки быстрых заряженных частиц с высоким пространственным ( $\approx 1$  мм) и хорошим временным ( $\approx 1$  мксек) разрешением, причем управляемость искровых камер позволяет отбирать изучаемые случаи взаимодействия элементарных частиц на большом фоне постороннего излучения. Однако сравнение искровых камер с такими трековыми приборами, как пузырьковые и диффузионные камеры, показывает слабые стороны метода искровых камер:

- 1) неизотропность (в искровых камерах не удается получить треки частиц, проходящих под углом больше  $45^\circ$  к направлению поля);
- 2) в искровых камерах нельзя получить треки частиц, останавливающихся в газе рабочего объема камеры;
- 3) искровые камеры дают мало информации об ионизирующей способности регистрируемых частиц, так как эффективность образования треков и их яркость слабо зависят от величины первичной плотности ионизации.

Эти недостатки искровых камер обусловлены характером газового разряда, развивающегося в них: газовое усиление первичной ионизации, необходимое для получения достаточно яркого трека столь велико, что процесс лавинного размножения первичных электронов переходит в быстрый стримерный процесс. Образующийся при этом искровой канал замыкает междуэлектродный промежуток камеры под углом не более  $45^\circ$  к направлению поля, а его яркость определяется в основном параметрами электрической цепи импульсного питания камеры. В этом смысле режим работы искровых камер аналогичен режиму газовых счетчиков в гейгеровской области, когда величина импульса не зависит от характера первичной ионизации, а определяется величиной приложенного напряжения.

Одна из возможностей устранения указанных недостатков, как было показано в работах <sup>1-4/</sup>, состоит в том, что локальное размножение первичных электронов можно довести до величины, при которой свечение трека можно фотографировать, если создавать в рабочем объеме камеры осциллирующее электрическое поле высокой частоты. Так, Каваллери и др. <sup>3/</sup> сфотографировали треки  $\alpha$ -частиц в камере объемом около  $60 \text{ см}^3$  с междуэлектродным промежутком 1,2 см, подавая на электроды камеры затухающее осциллирующее напряжение с частотой 40 МГц в течение 0,4 мксек. Получить треки релятивистских частиц в такой камере не удалось. Фукуи и др. <sup>4/</sup>

сфотографировали треки релятивистских частиц в небольшом объеме смеси газов, помещенной в волновод с внутренними размерами  $4,7 \times 2,2 \text{ см}^2$ , проводящий электромагнитные волны с частотой  $5,550 \text{ МГц}$  в течение  $0,1 \text{ мксек}$  после прохождения регистрируемых частиц. Помимо трудностей, связанных с получением высокочастотного поля, однородного по объему, возникала необходимость устранения фоновых разрядов путем введения в газ примеси алкоголя, поглощающей ультрафиолетовое излучение разряда.

Другая возможность изотропной регистрации треков заряженных частиц, в том числе и останавливающихся в газе рабочего объема камеры, состоит в том, что газовое усиление ограничивается в пределах, при которых лавинное размножение первичных электронов происходит еще локально, а увеличение яркости трека, необходимое для фотографирования, осуществляется путем использования электронно-оптического преобразователя. В настоящей статье описывается разработанная авторами изотропная разрядная камера (ИРК) для регистрации релятивистских заряженных частиц, действие которой основано на этом принципе.<sup>x/</sup>

#### Схема и конструкция камеры

Общая схема ИРК приведена на рис. 1. Основными элементами установки являются: камера (К), между электродами которой находится рабочий объем газа, электронно-оптический преобразователь (ЭОП) и электронная схема управления. Камера цилиндрической формы имела внутренний диаметр  $20 \text{ см}$  и высоту  $9 \text{ см}$ . Боковые стенки камеры были сделаны из плексигласа, а на торцах расположены круглые латунные электроды, центральные части которых утолщены так, что расстояние между плоскостями электродов по оси камеры равно  $5 \text{ см}$ . Радиус закругления краев выступающей части электрода также был равен  $5 \text{ см}$ . При такой конструкции камеры фоновые разряды, вызванные краевыми эффектами, не наблюдались даже при работе в режиме искровой камеры и наполнении объема технически чистым неоном или гелием. Рабочий объем камеры, т.е. область между электродами, в которой создается однородное электрическое поле, составлял около  $500 \text{ см}^3$ . Герметичность камеры обеспечивалась благодаря тому, что детали склеивались эпоксидной смолой.

Камера располагалась между двумя сцинтилляционными счетчиками ( $C_1, C_2$ ), отбиравшими космические частицы, проходящие через рабочий объем камеры под углом от  $0^\circ$  до  $20^\circ$  к вертикали. Импульс со схемы совпадений (СС) поступал на вход схемы управления, в одном из каналов которой (рис. 1, канал 4) формировался импульс запуска генератора высоковольтных импульсов (ГВВИ). Принципиальная схема канала аналогична схеме генератора, описанного в работе<sup>/5/</sup>. Прямоугольный импульс длитель-

x/

В последнее время были опубликованы работы<sup>/16,17/</sup>, описывающие разрядную камеру, принцип действия которой состоит в обрывании стримерного процесса путем быстрого уменьшения напряженности электрического поля в камере. Такая камера не является полностью изотропной, так как яркость трека сильно зависит от угла между траекторией частицы и направлением напряженности поля.

ностью 3 мксек с амплитудой до 3 кв запустил генератор, построенный по принципу трансформации напряжения системой длинных линий<sup>/6/</sup> с тиратроном в качестве коммутлирующего элемента<sup>/7/</sup>. Принципиальная схема генератора приведена на рис. 2. При поступлении запускающего импульса на сеточный трансформатор генератор вырабатывает отрицательный импульс напряжения приблизительно треугольной формы с плавно регулируемой амплитудой до 70 кв. Время нарастания напряжения составляло около 0,05 мксек, а полная длительность импульса была равна 0,1 мксек. Импульс поступал на один из электродов камеры с общей задержкой относительно момента прохождения космической частицы 0,7 мксек. Другой электрод камеры был заземлен через ограничительное сопротивление  $r = 160$  ом.

Слабое световое излучение, возникающее в процессе размножения первичных электронов вблизи траектории частицы попадало через плоское окно в плексигласовой стенке камеры в объектив типа "Гелиос-40" с  $f \approx 85$  мм и фокусировалось на фотокатод усилителя света с уменьшением 1 : 4. При относительном отверстии объектива 1 : 3,4 изображение треков, проходивших через центральную часть камеры, составлявшую 40% рабочего объема, передавалось объективом с разрешением не хуже 4 линий на мм в плоскости изображения.

В качестве усилителя света был использован многокаскадный электронно-оптический преобразователь (ЭОП), описанный, например, в работе<sup>/8/</sup>. ЭОП работал в режиме усиления, при котором возможно фотографирование на выходном экране ЭОПа светлых точек, соответствующих отдельным фотоэлектронам, испущенным с поверхности первого фотокатода. Для подавления темного фона напряжение на второй каскад подавалось импульсно через 5 мксек после регистрируемого события. Необходимый для этого отрицательный прямоугольный импульс с амплитудой 7 кв вырабатывался в канале 2 схемы управления (рис. 1).

Изображение, возникающее на выходном экране (Э) ЭОПа фотографировалось на стандартной аэрофотоплёнке чувствительностью 1200 ед. ГОСТ. В качестве объектива ( $O_2$ ) регистрирующей фотокамеры (РФК) был использован светосильный объектив с относительным отверстием 1 : 0,85. Затвор фотокамеры нормально открыт, и плёнка передвигается на один кадр после экспозиции. Для того, чтобы избежать вуалирования плёнки темным фоном последних каскадов при работе камеры в режиме регистрации редких событий, постоянное напряжение на последнем каскаде ЭОПа было установлено на 5 кв меньше напряжекия, необходимого для нормального усиления изображения. Прямоугольный импульс с амплитудой 5 кв и длительностью 0,1 сек формировался в канале 3 схемы управления и подавался на последний каскад ЭОПа с задержкой около 3 мксек относительно регистрируемого события.

## Рабочие характеристики камеры

Возможность использования начальной стадии газового разряда для получения треков заряженных частиц изучалась на описанной установке путем фотографирования разрядов, развивающихся в газе при различных значениях напряженности импульсного электрического поля, приложенного после прохождения ионизирующей частицы через газ. При этом камера устанавливалась двумя способами: а) электроды камеры расположены вертикально, так что выделяемые сцинтилляционными счетчиками частицы проходят через камеру под углами от  $90^\circ$  до  $110^\circ$  к направлению электрического поля (регистрация треков "перпендикулярно полю"); б) электроды расположены горизонтально, так что частицы проходят через камеру под углами от  $0^\circ$  до  $20^\circ$  к направлению поля (регистрация треков "по полю").

Было установлено, что в камере, наполненной технически чистым гелием до давления 1 ат при напряженности поля  $E \gtrsim 5$  кв/см количество света, образующегося в отдельных электронных лавинах, достаточно для регистрации, и цепочка лавинок, развивающихся вблизи траектории заряженной частицы, образует трек. (Здесь и в дальнейшем под напряженностью поля  $E$  имеется ввиду амплитудное значение напряженности создаваемого в камере поля).

Яркость и размер лавинок сильно зависят от напряженности приложенного поля, однако существует интервал значений напряженности поля ( $5 \text{ кв/см} < E < 5,3 \text{ кв/см}$ ), в котором количество и яркость лавинок в треках "перпендикулярно" полю и "по полю" практически одинаковы при одинаковой напряженности поля. Поэтому в указанном интервале напряженности поля треки регистрируются изотропно. Дальнейшее повышение амплитуды импульса вызывает переход электронных лавин в стримеры и возникновение одного искрового канала, замыкающего межэлектродный промежуток (в случае регистрации "по полю") или цепочки искровых каналов (в случае регистрации "перпендикулярно полю").

При напряженности  $E \gtrsim 6,5$  кв/см камера работает в режиме обычной искровой камеры. На рис. 3 приведены фотографии треков в рабочей области напряженности поля, а также фотографии, иллюстрирующие процесс развития искровых каналов при увеличении напряженности. Ширина полученных треков составляет около 2,5-3 мм и определяется в основном размером лавинок. При напряженности поля в интервале  $5,0 \text{ кв/см} < E < 5,3 \text{ кв/см}$  размеры лавинок в направлении поля и перпендикулярно к нему одинаковы, но при увеличении напряженности поля размер лавинок по полю быстро увеличивается, и лавинки приобретают вытянутую форму. Зависимость размера электронных лавин в направлении поля от напряженности поля приводится на рис. 5. Как видно на фотографиях (рис. 3), треки состоят из отдельных лавинок и имеют прерывистый характер, обусловленный статистическим характером распределения первичной ионизации вдоль траектории частицы и флуктуациями развития лавин.

Следует отметить, что среднее число наиболее развившихся лавин на единицу длины трека (1,5 - 2 лавины на см) на порядок меньше плотности первичных электронов и определяет наблюдаемую в искровых камерах<sup>/11/</sup> плотность разрядных колонок вдоль трека. Среднее число фотоэлектронов, создающих изображение лавин при напряженности  $E = 5,3$  кв/см было равно примерно десяти, что соответствует испусканию  $\approx 6 \cdot 10^5$  фотонов с длиной волны, соответствующей области чувствительности фотокатода.

Увеличение светосилы объектива, создающего изображение трека на фотокатоде ЭОПа до 1:1,5 не изменило существенно вид треков. Фотографии, приведенные на рисунках 5, 9, получены при светосиле первого объектива 1 : 1,5 . Для выяснения влияния формы импульса на ширину треков были отключены демпфирующие кенотроны в генераторе высоковольтных импульсов, и на электроды камеры подавался импульс с выбросом обратной полярности длительностью 0,5 мксек, амплитуда которого составляла примерно половину амплитуды основного импульса. Такое изменение формы импульсного напряжения оказалось эквивалентным (по достигаемому развитию лавин) увеличению на 20% амплитуды импульса без выброса. Размер лавинок при этом несколько увеличился, и, кроме того, рабочая область напряжения уменьшалась, так как при  $E \approx 4,6$  кв/см иногда наблюдались фоновые разряды в начальной стадии (рис. 4).

Кроме наполнения гелием, для получения треков использовалось также наполнение камеры технически чистым неоном. Треки появляются при напряженности поля  $E \approx 3,2$  кв/см, и интервал  $3,2 < E < 3,4$  кв/см является в этом случае областью изотропной регистрации треков. Возможность получения треков была исследована также при наполнении камеры различными газовыми смесями. Опыты со смесями газов можно разделить на три группы в зависимости от цели, которая ставилась при их изучении.

А) Для разработки изотропных разрядных камер большого размера представляют интерес смеси газов, позволяющие получать треки при наименьших значениях напряженности электрического поля. В этом отношении различные газы и их смеси могут отличаться как по величине  $a \cdot v$ , где  $a$  - первый коэффициент ионизации Таунсенда, а  $v$  - дрейфовая скорость электронов в поле, так и по спектральному составу и интенсивности излучаемого света. С этой точки зрения были исследованы смеси неона и гелия с аргоном. В смеси 84% Ne + 16% Ar треки регистрировались, начиная с

$E = 6,35$  кв/см. Зависимость минимальной напряженности, необходимой для регистрации треков в смеси неона с аргоном от процентного содержания аргона, показана на рис. 6 (кривая 1). Там же (кривая 2) приведены значения минимальной напряженности, необходимой для визуального наблюдения искровых каналов при разной концентрации аргона в неоие. В работах<sup>/9,10/</sup> было высказано предположение о том, что в импульсных полях малой продолжительности напряжение пробоя в смеси Ne + Ar становится

минимальным при концентрации аргона  $\approx 10-25\%$ . Однако полученные нами данные подтверждают тот факт, что эффект Пеннинга наиболее сильно проявляется при низких значениях концентрации аргона (порядка долей процента) даже в импульсных полях длительностью  $\approx 10^{-7}$  сек. Таким образом, в смеси  $Ne + 0,5\% A$  при давлении 1 ат можно регистрировать треки релятивистских частиц при напряженности поля  $E = 2,8$  кв/см.

В) Время памяти камеры определяется скоростью исчезновения свободных электронов, образованных в газе ионизирующей частицей, и в технически чистом гелии составляет десятки микросекунд. Так, при дополнительной задержке высоковольтного импульса на 10,5 мксек количество лавин на единицу длины трека в гелии упало на 30%. Широко применяемый в искровых камерах с малыми межэлектродными промежутками способ уменьшения разрешающего времени путем приложения очищающего поля, очевидно, малоэффективен для камер с большим межэлектродным промежутком, так как время собирания электронов в этом случае становится большим. Поэтому приобретают интерес поиски эффективных "химических" способов уменьшения разрешающего времени. Известно, что добавление спирта уменьшает время памяти в искровых камерах даже в отсутствие очищающего поля<sup>/11/</sup>. Поэтому была изучена возможность работы ИРК с таким наполнением. Рабочая область напряженности для смеси  $Ne + 2,8\% C_2H_5OH$  находилась в интервале  $6,1 < E < 6,4$  кв/см. Количество лавин на единицу длины трека несколько уменьшилось и составляло 1,4 лавины на см. При введении дополнительной задержки высоковольтного импульса относительно момента прохождения частицы  $t_{зад.} = 5$  мксек число лавин на см падало в два раза. При этом уменьшалась и яркость трека, рис. 7, так что при общей задержке около 7 мксек треки релятивистских частиц не наблюдались.

Добавление к неону 1,3% воздуха повышало напряженность поля в рабочей области на 30%. Число лавин на единицу длины падало в два раза при введении дополнительной задержки высоковольтного импульса на 9 мксек. При задержке  $t_{зад.} = 12$  мксек треки релятивистских частиц не регистрировались. Рабочая напряженность поля при введении в неон паров воды с давлением 13 мм рт.ст. поднимается только на 10%, однако время памяти в камере с таким наполнением нестабильно и может быть сильно изменено действием искровых разрядов в объеме газа. Это подтверждается изменением эффективности образования искровых каналов (при работе в режиме искровой камеры) в зависимости от времени задержки импульсного напряжения на электродах (рис. 8). Возможная причина этого явления заключается в диссоциации воды под действием искровых разрядов с образованием нейтральных либо ионизованных атомов и молекул, обладающих большей энергией сродства к электрону, чем у молекул воды.



По-видимому, более перспективным является использование в качестве добавок таких газов, как  $CO_2$  и  $SO_2$  /10,12/, а также совместное действие электроотрицательных добавок и электрического поля, поддерживающего среднюю энергию первичных электронов на уровне нескольких десятых электрон-вольта. Оценки показывают, что таким способом время памяти в камере может быть сделано меньше микросекунды.

Следует заметить, что некоторые вещества могут оказывать влияние на работу камеры, присутствуя в газе в ничтожно малых концентрациях. Так, малые ( $< 10^{-4}\%$ ) примеси четыреххлористого углерода делают регистрацию треков невозможной. Аналогичное наблюдение было сделано при работе с искровой камерой в работе /13/.

С) Поскольку камера может быть использована для изучения процессов взаимодействия элементарных частиц с ядрами газообразного вещества, наполняющего камеру, необходимо изучить возможность введения различных веществ в инертный газ, составляющий основное наполнение камеры. С этой целью были выбраны вещества, содержащие водород и углерод. В смеси  $He + 3,3\% CH_4$  получены треки при напряженности поля в интервале 6,7 - 7,0 кв/см. При введении в  $He$  11%  $CH_4$  получить треки было уже невозможно. Треки не регистрировались также в смесях  $He + 5\% C_2H_6$  и  $He + 5,5\% H_2$ .

Описанные выше опыты были выполнены при полном давлении газа в камере, равном 1 атм., однако для проведения физических экспериментов в некоторых случаях, например, регистрация короткопробежных частиц, изучение распадов нестабильных частиц на лету, может потребоваться меньшее давление. Наполнение камеры  $He + 1,3\%$  воздуха при давлении 0,5 атм показало, что в этих условиях можно регистрировать треки. Были получены также треки в смеси  $He + 1\% A$  при давлении 0,26 атм. Работа ИРК при пониженном давлении позволяет почти пропорционально снизить амплитуду высоковольтного импульса, однако требует высокой герметичности рабочего объема камеры, чтобы препятствовать натеканию атмосферного воздуха.

Полученная в настоящей работе ширина лавин определяется в основном диффузией электронов при размножении в лавине, и так как квадрат радиуса диффузии пропорционален времени размножения, то уменьшение длительности импульса на порядок, по-видимому, позволит примерно в три раза уменьшить ширину лавин. Следует заметить, что при длительности приложенного поля  $\approx 10^{-8}$  сек треки частиц, идущих перпендикулярно полю, по-видимому, могут быть получены без применения усилителя яркости, так как скорость распространения стримера равна  $10^8$  см/сек /15/, и трек, возможно, будет образовываться в виде цепочки незавершенных стримеров. Однако можно ожидать, что получить ширину трека 1 мм таким способом затруднительно, а большая величина газового усиления должна сильно ослабить зависимость характеристик трека от первичной ионизации и привести к сильной зависимости яркости от направления трека относительно поля.

### З а к л ю ч е н и е

1. Разработана изотропная разрядная камера, регистрирующая треки релятивистских заряженных частиц независимо от угла между направлением электрического поля и траекторией частиц.

2. Показано, что треки заряженных частиц имеют ширину порядка 2-3 мм, а время памяти в использованных смесях газов составляет несколько микросекунд.

3. Показана возможность работы камеры при наполнении рабочего объема различными газовыми смесями, а также при пониженном давлении.

4. Использование генераторов коротких импульсов высокого напряжения (типа Маркса<sup>/14/</sup>, либо с трансформацией напряжения системой длинных линий<sup>/6/</sup>) позволяет увеличить ширину междуэлектродного промежутка до нескольких десятков сантиметров. Поэтому вполне реальна разработка ИРК большого объема (30x 100x 100 см<sup>3</sup>).

5. Для окончательного выяснения круга экспериментов, выполнимых на ИРК, необходимо детальное изучение ряда вопросов:

а) зависимость характеристик трека (яркость, число лавин на единицу длины трека, ширина трека) от величины первичной плотности ионизации;

в) возможность одновременной регистрации частиц с сильно отличающейся ионизирующей способностью;

с) влияние ионной загрузки рабочего объема фоновыми частицами на процесс образования треков.

В заключение авторы выражают благодарность Л.М. Сороко за постоянную помощь в работе и обсуждение результатов.

### Л и т е р а т у р а

1. A.R.Bevan, *Nature*, 164, 454, (1949).

2. S.Fukui, S.Hayakawa, T.Tsukishima, H.Nukushina. Proc. Int. Conf. H.E. Phys. Berkeley (1960), p. 267.

3. C.Cavalleri, E.Gatti, G.Redaeli. *Nuovo Cim.*, 25, N6. 1282(1962).

4. S.Fukui, S.Haya Kawa, T.Tsukishima, H.Nukushina. *Nucl. Instr. and Methods*, 20, 236 (1963).

5. О.С. Колотов, Ю.Н. Лобанов, А.С. Обухов, Н.П. Полев. ПТЭ, № 3, 73 (1980).

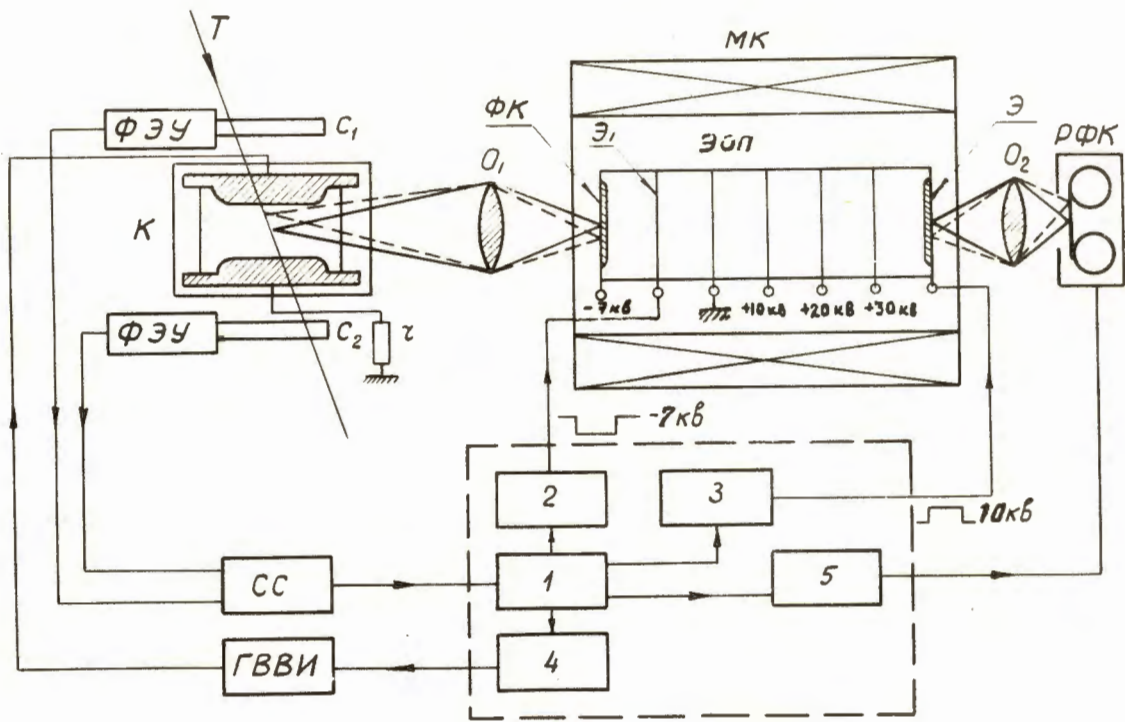
6. А.И. Павловский, Г.В. Склизков. ПТЭ, № 2, 98 (1982).

7. В.И. Комаров, О.В. Савченко. Препринт ОИЯИ 1429, Дубна, 1983.

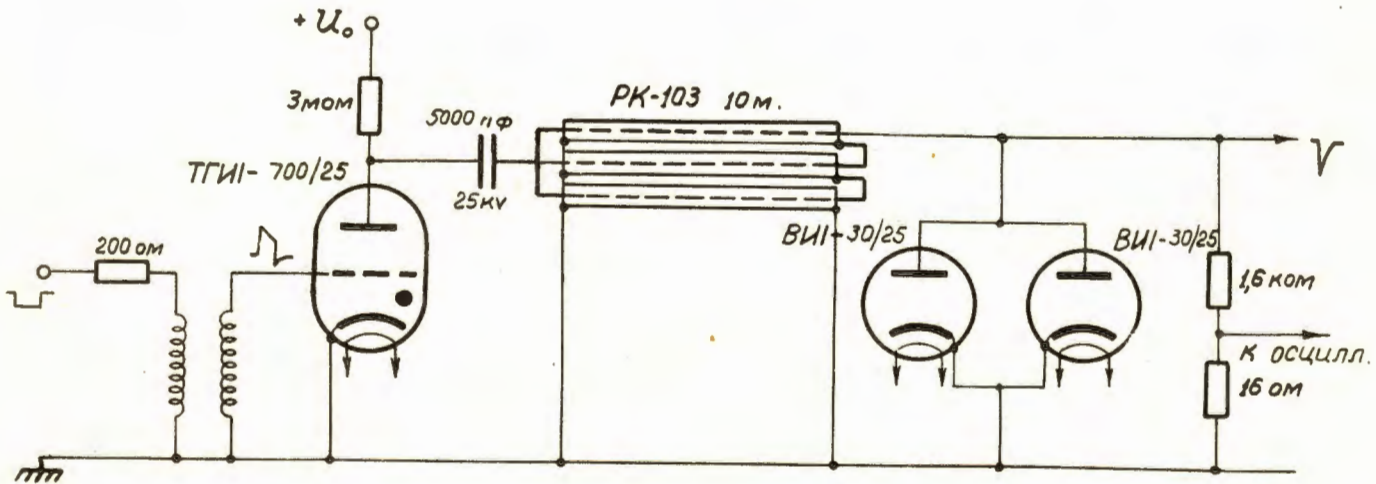
8. Б. А. Демидов, С.Д. Фанченко. ЖЭТФ, 39, 64 (1980).

9. S.Fukui, S.Miyamoto. Journ. of the Phys. Soc. Japan, 16, No 12, 2574 (1961).
10. S.Miyamoto. Nuovo Cim., v27, N6, 1325 (1963).
11. J.W.Cronin. IRE Trans. of Nucl. Science, VNS-9, N3, 247 (1962).
12. O'Neill. Nucl. Instr. and Methods. v20, p.154 (1963).
13. Ю.Д. Баюков, Г.А. Лексин, Д.А. Сучков, В.В. Теленков. ПТЭ, № 1, 38 (1983).
14. J.D.Craggs, J.M.Meek. High Voltage Laboratory Technique, London (1954).
15. Дж. Мик, Дж. Крэгс. Электрический пробой в газах. ИЛ, 1980.
16. Б.А. Долгошеин, Б.И. Лучков. ЖЭТФ, 48, 392 (1984).
17. В.А. Михайлов, В.Н. Рфйнишвили, Г.Е. Чиковани. ЖЭТФ, 45, 818 (1983).

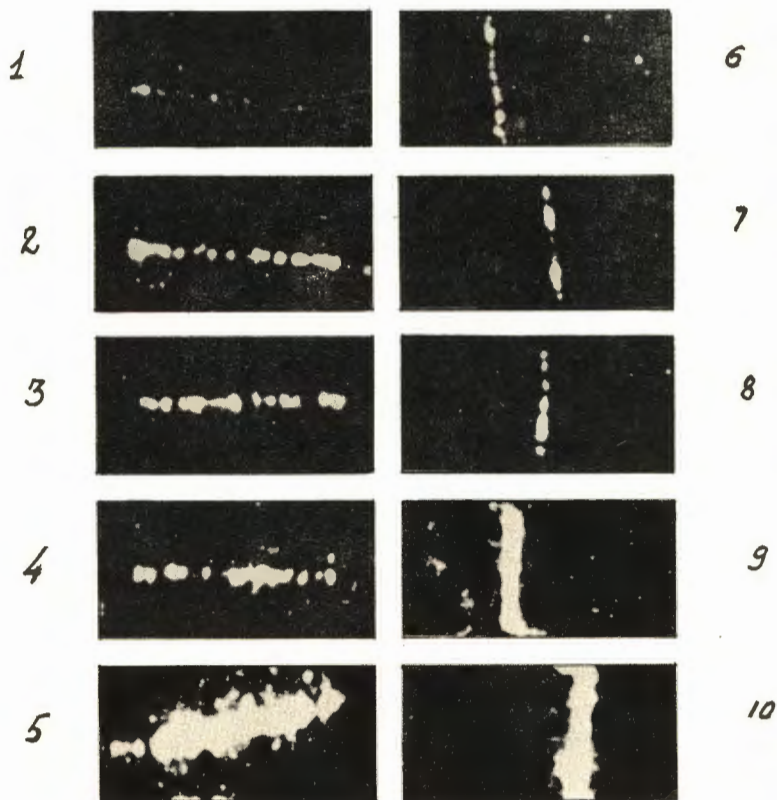
Рукопись поступила в издательский отдел  
27 марта 1983 г.



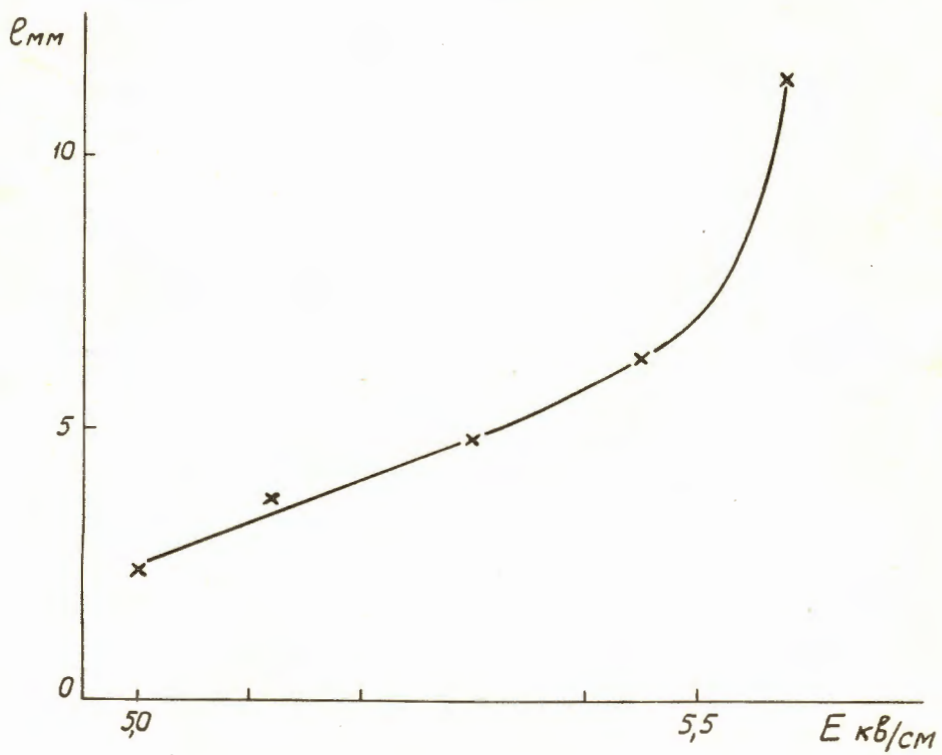
Р и с. 1. Общая схема ИРК. К-камера, Т-траектория космической частицы,  $O_1$  -объектив, ЭОП -электронно-оптический преобразователь, Э, (Э)-экран первого (последнего) каскада, МК-магнитная катушка,  $O_2$  -объектив фотокамеры, РФК-регистрирующая фотокамера,  $C_1, C_2$  -сцинтилляционные счетчики, СС -схема совпадений, ГВВИ -генератор высоковольтных импульсов, 1-5 -каналы электронной схемы управления.



Р и с. 2. Принципиальная схема генератора высоковольтных импульсов.



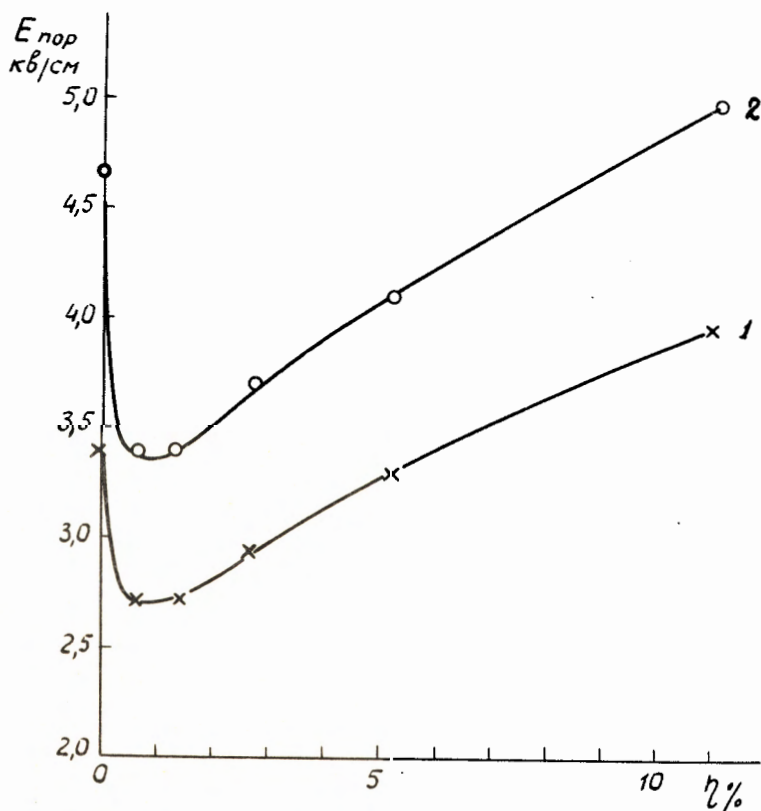
Р и с. 3. Фотографии треков релятивистских частиц в  $Ne$  при различных значениях напряженности поля. (1-5) - угол между направлениями треков и поля составляет  $90-110^\circ$ . (6-10) - угол между направлениями треков и поля составляет  $0-20^\circ$ . Напряженность поля равна соответственно (1,6) - 5,0 кв/см, (2,7) - 5,15 кв/см, (3,8) - 5,3 кв/см, (4,9) - 5,45 кв/см, (5,10) - 5,6 кв/см.



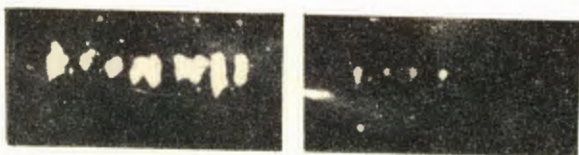
Р и с. 4. Размер лавин в зависимости от напряженности поля.



Р и с. 5. Фотографии треков в  $He$ , полученные при использовании высоковольтного импульса с выбросом. 1 - напряженность поля  $E = 4,45$  кв/см, 2 -  $E = 4,8$  кв/см; 3 -  $E = 4,8$  кв/см, фоновый разряд.



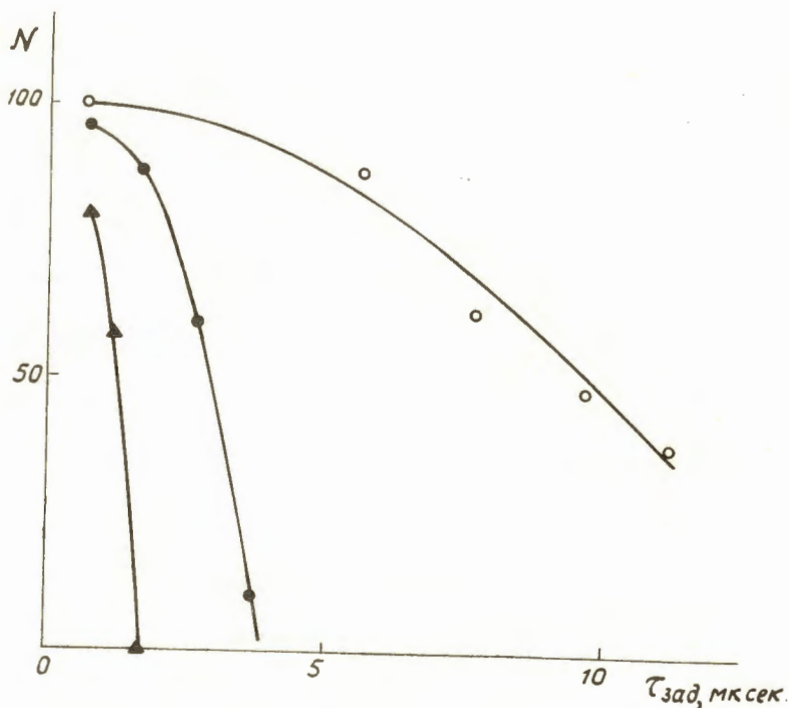
Р и с. 6. Зависимость минимальной напряженности поля, необходимого для регистрации треков в смеси  $Ne + \gamma\% A$  от процентного содержания аргона. 1 - регистрация в режиме ИРК; 2 - регистрация в режиме искровой камеры.



1

2

Р и с. 7. Фотографии треков в  $Ne + 2,6\% C_2H_2OH$  при различных значениях времени задержки ( $\tau_{зад.}$ ) высоковольтного импульса.  
 1 -  $\tau_{зад.} = 0,7$  мксек, 2 -  $\tau_{зад.} = 6,7$  мксек.



Р и с. 8. Зависимость эффективности искровой камеры от времени задержки высоковольтного импульса в смеси  $Ne + 2\% H_2O$  O - через час после наполнения,  $\Delta$  - после 500 интенсивных искровых разрядов в течение 10 минут,  $\circ$  - через 24 часа после разрядов.