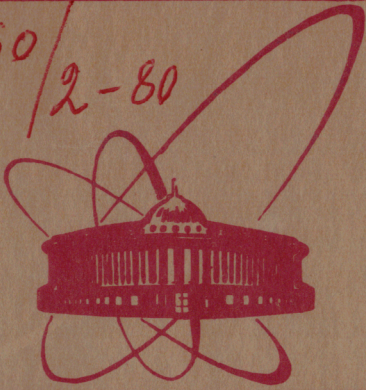


4960 / 2-80



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

20/4-80

13-80-447

Г.Д.Алексеев, Н.А.Калинина, В.В.Карпухин,
В.В.Круглов, Д.М.Хазинс

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
САМОГАСЯЩЕГОСЯ СТРИМЕРНОГО РАЗРЯДА
В ПРОВОЛОЧНОЙ КАМЕРЕ

Направлено в ЖТФ

1980

Алексеев Г.Д. и др.

13-80-447

Основные характеристики самогасящегося стримерного разряда в проволочной камере

Сообщаются результаты исследования основных характеристик самогасящегося стримерного /СГС/ разряда в проволочной камере: 1/ амплитудные и временные характеристики; 2/ загрузочная способность камеры; 3/ чувствительность к первичной ионизации; 4/ пространственная локализация разряда в камере и направленность развития стримеров. Изучена возможность использования СГС-разряда для устранения лево-правой неоднозначности в дрейфовых камерах.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Alekseev G.D. et al.

13-80-447

Main Characteristics of a Self-Quenching Streamer Discharge in a Wire Chamber

The results of investigating the main characteristics of a self-quenching streamer (SQS) discharge in a wire

ВВЕДЕНИЕ

Широкое развитие методики проволочных пропорциональных камер в последние годы привело в некоторых случаях к наблюдению аномально больших сигналов ^{1-5/} в камере, амплитуда тока которых характерна для режима Гейгера-Мюллера. Однако эти сигналы имели сравнительно малую длительность и не сопровождались большим мертвым временем. Фотографирование разряда в камере позволило сделать заключение о стримерном механизме этого режима ^{6/}. Первичная таунсендовская лавина, образовавшаяся вблизи анодной проволоки, дает начало катодонаправленному стримеру, причем развитие разряда не завершается искровым пробоем благодаря самогашению стримера в области слабого внешнего поля.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СГС-РАЗРЯДА

Исследования проводились на однокоординатной многопроволочной камере размером 16x16 см². Анодные проволоки из бериллиевой бронзы диаметром 50 мкм намотаны с шагом 10 мм. Катодные плоскости намотаны проволокой из бериллиевой бронзы диаметром 100 мкм с шагом 2 мм параллельно анодным и удалены от плоскости анодных проволок на +8 мм. Камера продувалась газовой смесью из аргона, метана и метилала при атмосферном давлении. Основная часть измерений выполнена с использованием газовой смеси: 50% Ar + 33% CH₄ + 17% (OCH₃)₂CH₂.

На рис. 1 показаны амплитудные спектры сигналов с камеры в зависимости от напряжения питания при облучении ее рентгеновскими фотонами от источника ⁵⁵Fe. При напряжении ≤ 3,0 кВ в камере наблюдается пропорциональный режим газового усиления. /Отношение амплитуд сигналов, соответствующих пикам с энергией 5,9 и 2,95 кэВ, которые дает ⁵⁵Fe в газовой смеси, содержащей Ar, близко к 2/. С ростом напряжения пропорциональность нарушается, пики начинают сливаться и при U = 3,3 кВ пик, соответствующий энергии 2,95 кэВ, становится неразличимым. При напряжении 3,4 кВ наряду с импульсами, амплитуда которых характерна для режима пропорционального усиления, начинают появляться импульсы существенно большей амплитуды. Амплитудный разброс этих импульсов невелик /~40% на полувысоте/, так что оба типа импульсов образуют неперекрывающиеся пики в амплитудном спек-

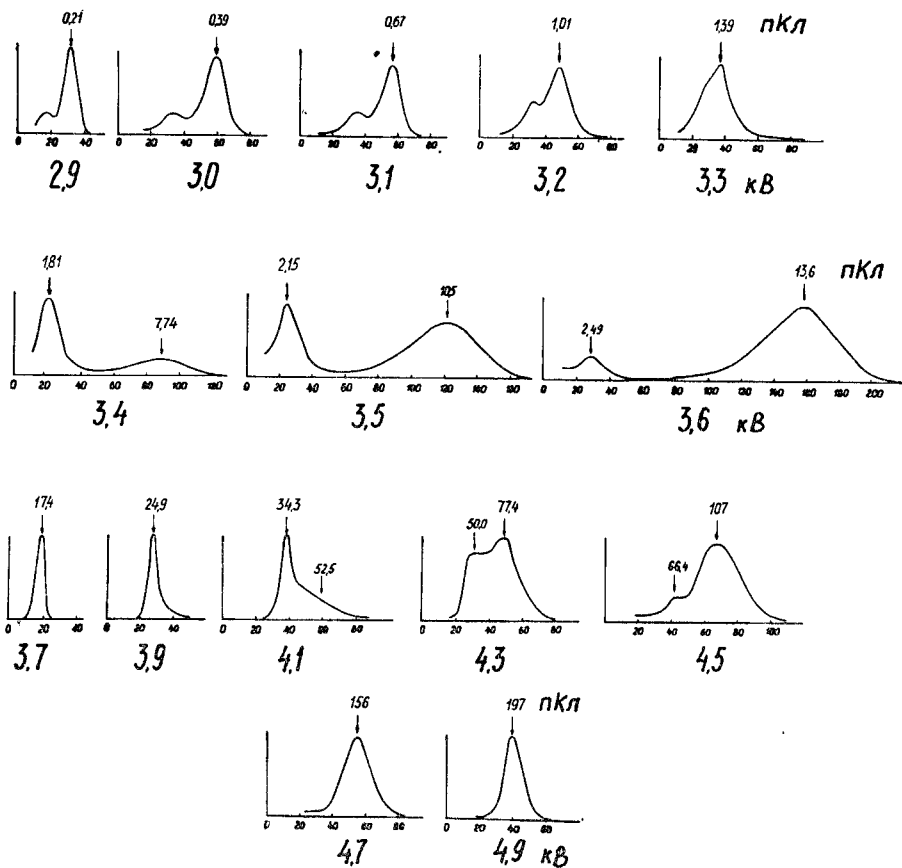


Рис.1. Амплитудные спектры сигналов при разном напряжении на камере. /Цифры над пиками указывают амплитуду сигналов в пКл. Верхний ряд соответствует пропорциональной области газового усиления; средний - переходной области; нижние - области СГС-режима/.

ре. С ростом напряжения все большая доля импульсов переходит в режим больших сигналов, пока все 100% их не перейдут в правую часть спектра / $U = 3,7$ кВ/. При дальнейшем повышении напряжения происходит еще один скачок в амплитуде, существенно более слабый, чем первый. Все это показано на рис.2, где представлена зарядовая характеристика, построенная на основании амплитудных спектров. Форма импульса в области ветвей II и III /рис.2/ не зависит от напряжения. Длительность сигнала на полу-

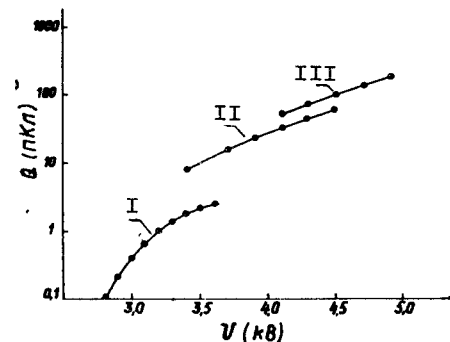


Рис.2. Зарядовая характеристика камеры - зависимость средних амплитуд сигналов в пиках, указанных стрелками на рис.1, от напряжения.

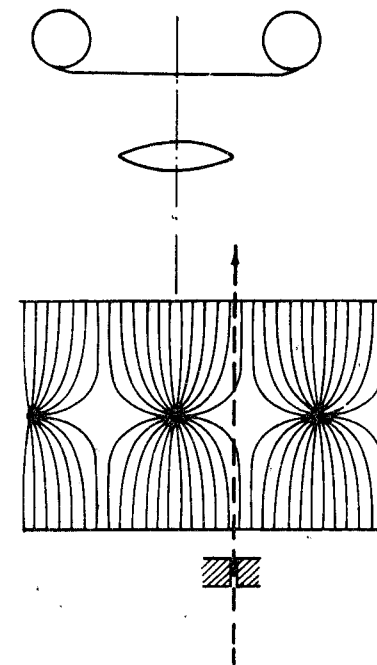


Рис.3. Схема фотографирования /показаны направление пучка рентгеновских фотонов /штриховая линия/ и конфигурация электрического поля в камере/.

высоте составляет ~ 40 нс. Не меняется при этом и величина мертвой зоны $\xi \approx 30$ мкс \times см^{1/3}.

Каждый скачок в амплитуде, по-видимому, соответствует включению нового механизма газового усиления. Поэтому было проведено фотографирование разряда при напряжениях на камере, соответствующих ветвям I, II и III на рис.2. Фотографирование производилось аналогично работе /6/. Схема фотографирования представлена на рис.3. Перпендикулярно к камере /с точностью $\pm 0,2^\circ$ / направлялся пучок рентгеновских фотонов с энергией ~ 8 кэВ /К-серия Си/, диаметр которого не превышал 0,2 мм. Положение пучка выбиралось таким образом, чтобы электроны, образующиеся в результате ионизации, двигаясь вдоль силовых линий электрического поля, собирались к анодной проволоке в узком угловом интервале $\pm 15^\circ$. Фотографирование производилось объективом с фокусным расстоянием 50 мм и относительным отверстием 1:2 на пленку изопанхром тип-29 чувствительностью $S_{0,85} \approx 2000$ единиц ГОСТ в масштабе 1:1. Длительность экспозиции контролировалась по числу импульсов N, зарегистрированных на облучаемой проволоке. Скорость счета составляла ~ 200 с⁻¹.

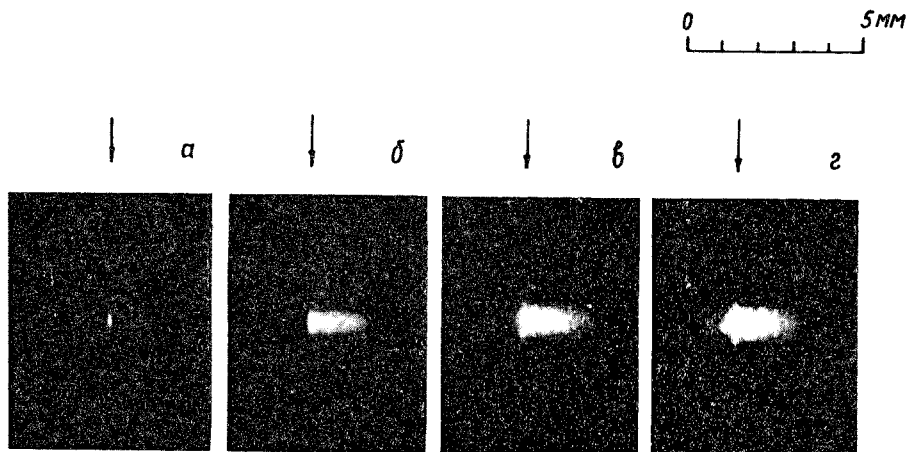


Рис. 4. Фотографии разряда: а - пропорциональный режим, $U = 3,15$ кВ, $N = 2 \cdot 10^7$, б - СГС-режим, $U = 3,8$ кВ, $N = 5 \cdot 10^6$, в - СГС-режим, $U = 4,2$ кВ, $N = 1,7 \cdot 10^6$, г - СГС-режим, $U = 4,6$ кВ, $N = 5 \cdot 10^5$ /стрелки указывают положение анодной проволоки/.

Фотографии разряда представлены на рис. 4. На фотографии разряда /4а/ в пропорциональном режиме /ветвь I на рис. 2/ светится небольшой участок проволоки, длина которого определяется в основном размерами коллиматора. Интенсивное свечение происходит только в непосредственной близости от проволоки, где развиваются последние, наиболее интенсивные стадии таунсендовской лавины.

Фотографии 4б и 4в соответствуют ветви II. Распределение светимости, которое на них наблюдается, хорошо объясняется суммарным излучением катодонаправленных стримеров. Стримеры развиваются из первичной лавины /4а/, распространяясь от анодной проволоки вдоль силовых линий электрического поля. Учитывая малую длительность импульса, никаким другим способом объяснить наблюдаемый на фотографиях вид светящейся области не удастся. Например, объяснение с помощью обычного лавинного механизма невозможно из-за того, что величина напряженности электрического поля в камере резко падает при удалении от анодной проволоки и на расстоянии 1 мм, где еще наблюдается интенсивное свечение, заведомо недостаточна для образования таунсендовской лавины. На фотографии 4г, соответствующей вет-

10

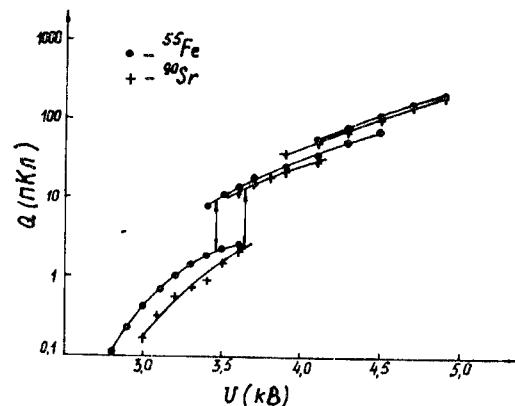


Рис. 5. Сравнение зарядовых характеристик, полученных для рентгеновских фотонов с энергией ~8 кэВ (^{55}Fe) и проходящих β -частиц (^{90}Sr).

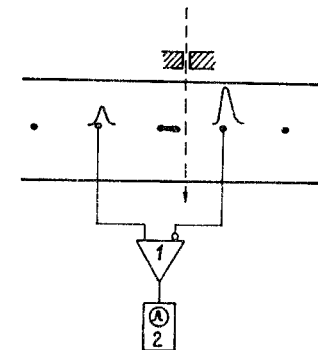


Рис. 6. Схема измерения наведенных сигналов: 1 - дифференциальный усилитель, 2 - амплитудный анализатор.

ви III на рис. 2, область свечения становится размазанной и захватывает больший по сравнению с фотографиями 4б и 4в участок анодной проволоки. Однако и в этом случае необходимо привлечь стримерный механизм развития разряда для объяснения наблюдаемой картины, так как область свечения простирается на значительное расстояние от анодной проволоки. Таким образом, фотографирование разряда в камере позволило объяснить скачок в амплитуде только между ветвями I и II. Природа второго скачка в амплитудной характеристике осталась невыясненной.

Фотографии СГС-разряда /4б, в, г/ были получены при разном напряжении питания, однако на них не заметно увеличения длины стримера с ростом напряжения, что оказалось довольно неожиданным, так как заряд в импульсе при этом увеличивается почти в 10 раз. Это означает, что линейная плотность заряда в стримере увеличивается. Соответственно с напряжением растет и светимость стримера.

При исследовании амплитудных характеристик было изучено также влияние на СГС-режим величины первичной ионизации. Использовались β -источник ^{90}Sr , γ -источник ^{55}Fe и рентгеновский излучатель с энергией фотонов ~8 кэВ /К-серии Cu/. Количества первичных пар ионов, образованных в нашей камере этими источниками, соотносятся как 1:2,2:3 соответственно. Исследования показали, что различие в величине первичной ионизации сказывается только на напряжении питания, при котором происхо-

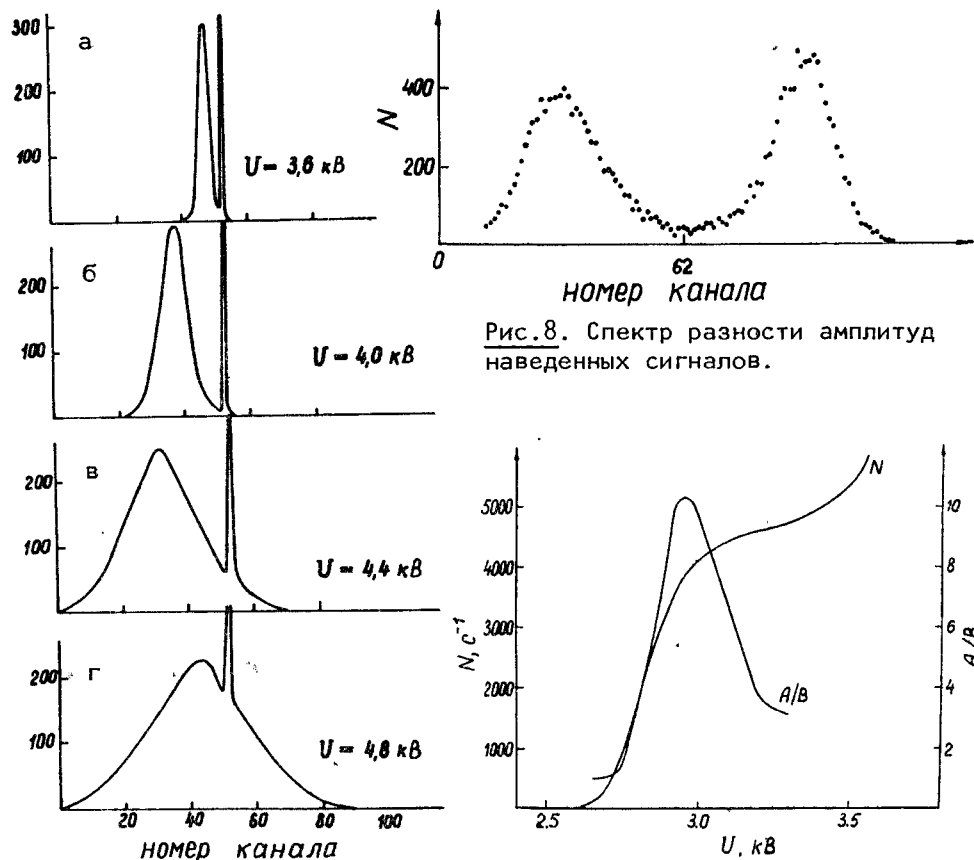


Рис. 8. Спектр разности амплитуд наведенных сигналов.

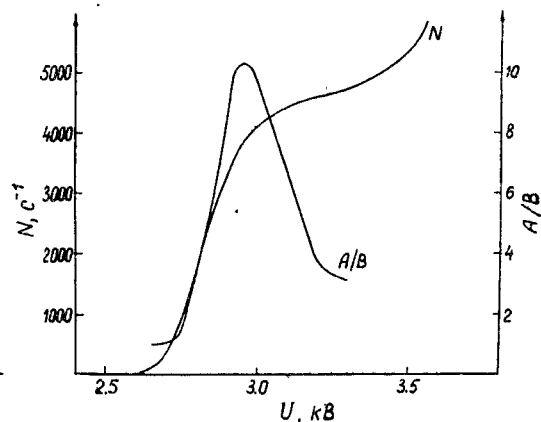


Рис. 9. Счетная характеристика камеры, работающей в СГС-режиме, и зависимость A/B от напряжения питания.

Рис. 7. Спектры разности амплитуд наведенных сигналов /узкий пик в 53 канале получен при отключенных входах дифференциального усилителя и соответствует нулевой разности амплитуд/.

дит переход от пропорционального к СГС-режиму. Никаких других отличий замечено не было. Для иллюстрации этого факта на рис. 5 приведены зарядовые характеристики, полученные с источниками ^{55}Fe и ^{90}Sr . Положение стрелок на рисунке соответствует на-

пряжению, при котором половина сигналов принадлежит СГС-режиму. Из рисунка видно, что зарядовые характеристики в СГС-режиме в пределах точности наших измерений совпадают для обоих источников. Переход от пропорционального к СГС-режиму происходит при одинаковой величине заряда первичной лавины, с чем и связано различие в напряжении переходов. В принципе это различие можно использовать для дискриминации частиц по ионизирующей способности.

Как видно из фотографий 4б и 4в, все стримеры направлены в одну строку - ту, с которой приходят дрейфующие электроны. Для количественного изучения этого явления было проведено измерение сигналов, наведенных на соседних с облучаемой анодных проволоках. Схема эксперимента представлена на рис. 6. Облучение камеры производилось так же, как и во время фотографирования. Возникший в камере разряд наводит сигналы на окружающих облучаемую проволоку электродах, в том числе и на соседних с ней анодных. Наведенный сигнал больше на той проволоке, в сторону которой развивается стример. Сигналы с этих двух проволок подавались на дифференциальный усилитель /1/, на выходе которого возникал сигнал, пропорциональный разности амплитуд наведенных сигналов. Этот разностный сигнал поступал в многоканальный анализатор /2/. Представленные на рис. 7 спектры разности амплитуд наведенных сигналов ясно показывают, что при напряжениях на камере, соответствующих ветви II на рис. 2, стример всегда развивается в ту сторону, откуда приходят дрейфующие электроны /рис. 7а и 7б/. При переходе на ветвь III /рис. 7в и 7г/ это свойство направленности разряда в основном теряется, что заметно и на фотографии 4г.

Ранее было показано /7/, что в камерах, работающих в пропорциональном режиме, при определенных условиях лавина не окружает анодную проволоку. Это явление было использовано для дополнительного определения координат частиц /7/ и для решения левой неопределенности в дрейфовых камерах /8,9/. Явление направленности стримера также может быть использовано для этих целей. Исследование эффективности разделения частиц, прошедших слева и справа от проволоки, было выполнено с помощью β -частиц от источника ^{90}Sr при равномерном по площади облучении камеры. В этом эксперименте камера продувалась газовой смесью /80% Ar + 20% $(\text{OCH}_3)_2\text{CH}_2$ /, в которой также осуществляется СГС-режим. Для частиц, прошедших через область чувствительности центральной анодной проволоки, характерный вид спектра разности сигналов, наведенных на соседних с ней анодных проволоках, представлен на рис. 8. Он получен при напряжении на камере $U = 2,95$ кВ. Пики на спектре вызваны β -частицами, прошедшими слева и справа от проволоки. Положение минимума между пиками соответствует нулевому сигналу на выходе дифференциального

усилителя. Причиной перекрытия пиков, наблюдаемого на рис.8, является не только неэффективность разделения. Приблизительно 1% импульсов вызывается β -частицами, попадающими непосредственно в анодную проволоку, которые, естественно, дают нулевую разность амплитуд наведенных сигналов. В качестве критерия эффективности разделения частиц на "правые" и "левые" используется отношение A/B , где A - высота меньшего из пиков в спектре, а B - высота минимума между пиками. На рис.9 приведена зависимость отношения A/B от напряжения на камере, а также счетная характеристика камеры, работающей в СГС-режиме. Как видно из рисунка, максимум кривой A/B лежит в самом начале плато счетной характеристики. Дальнейший спад кривой вызван увеличением доли импульсов, характерных для ветви III на рис.2. При некоторых субъективных предположениях о форме пиков на рис.8 и с учетом количества β -частиц, попавших в проволоку, можно оценить эффективность разделения частиц. Для $A/B = 10$ она равна приблизительно 99%.

Таким образом, СГС-режим позволяет эффективно решать проблему устранения лево-правой неоднозначности в дрейфовых камерах. Большая амплитуда наведенного сигнала в данном случае позволяет существенно упростить соответствующую электронную аппаратуру по сравнению с камерами, работающими в пропорциональном режиме.

Авторы благодарны А.Ф.Писареву, Б.М.Понтекорво и Д.Б.Понтекорво за полезные дискуссии, Л.Л.Неменову за поддержку в работе, А.А.Гогину за помощь в измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bouclier R. et al. NIM, 1970, 88, p.149.
2. Brehin S. et al. NIM, 1975, 123, p.225.
3. Alekseev G.D. et al. NIM, 1978, 153, p.157.
4. Grunberg C. et al. NIM, 1970, 78, p.102.
5. Champion P.I., Kingham M.W.T. In: Xth Int.Conf. on Phenomena in Ionized Gases. Oxford, 1971, p.88.
6. Alekseev G.D. et al. Lettere al Nuovo Cimento, 1979, vol.25, No.5, p.157.
7. Charpak G. et al. NIM, 1978, 148, p.471.
8. Walenta A.H. NIM, 1978, 151, p.461.
9. Breskin A. et al. NIM, 1978, 151, p.472.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 июня 1980 года.