

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ПРИЗНАКИ СТРИМЕРНОЙ МОДЫ РАЗРЯДА В НИЗКОВОЛЬТНЫХ ГАЛОГЕННЫХ СЧЕТЧИКАХ ГЕЙГЕРА-МИЮЛЛЕРА

Разин В.И.

Институт ядерных исследований РАН, г.Москва

Введение.

Из физики газового разряда в детекторах ядерного излучения известно [1], что для счетчиков с чистым газовым наполнением интервал напряжений между действительно пропорциональной областью и областью Гейгера имеет длительность порядка 100 вольт. Для счетчиков с добавкой многоатомных газов или паров переход от одной области к другой имеет длительность почти в два раза больше и совершается постепенно. Между этими областями находится так называемая область ограниченной пропорциональности, в которой импульсы от слабой первичной ионизации при давлении газа, равным примерно 100 мм ртутного столба, возрастают с увеличением напряжения несколько быстрее, чем это соответствует действительно пропорциональной области. Обычно это увеличение связывают с влиянием фотонной ионизации. Импульсы, вызванные более сильной первичной ионизацией, например, альфа-частицей, с увеличением напряжения возрастают медленнее, чем это предполагается для пропорциональной области. Это явление связано с увеличением влияния образованных в лавине положительных ионов с малой подвижностью, в результате чего в области лавинного размножения электронов образуется положительный заряд, который ограничивает амплитуду импульсов. В результате импульсы от альфа-частиц и бета излучения становятся приблизительно равными. При умеренном напряжении амплитуда импульса от альфа-частиц практически еще не зависит от направления излучения (перпендикулярно или параллельно аноду). При несколько большем напряжении и перпендикулярном к аноду излучении амплитуда импульса начинает возрастать, в то время как при параллельном к аноду облучении возрастание амплитуды импульса гораздо менее заметно. В этой связи было принято называть большие импульсы при перпендикулярном или радиальном облучении «увеличенными» импульсами. Более детальное исследование показало, что особенно большие амплитуды получаются вначале только при почти перпендикулярном к аноду облучении. С возрастанием напряжения на счетчике все большее число частиц, которые проходят под известным углом относительно направления, перпендикулярного аноду, вызывали подобные «увеличенные» импульсы. Исследования показали, что «увеличенные» импульсы возрастают с напряжением до тех пор, пока не наступает пробой. Осциллограммы этих импульсов показали, что они представляют собой принципиально другую форму

разряда, которая не соответствовала ни пропорциональному импульсу, ни какой-либо стадии импульса в области Гейгера. С другой стороны известно, что разряд, развивающийся в области Гейгера, является разновидностью нестабильного коронного разряда [2]. Для существования стационарной формы разряда необходимо какое-то наименьшее напряжение U_{\min} и минимальный ток I_{\min} . Если поднять напряжение на аноде счетчика, то в газовом объеме образуется область, в которой нестабильный коронный разряд переходит в самостоятельный коронный разряд, а при дальнейшем увеличении напряжения начинается тлеющий разряд.

Следует добавить также, что наблюдение аномально больших импульсов, примерно в 100 раз превышающих сигналы в режиме пропорционального усиления, было отмечено в работе [3] при исследовании влияния электроотрицательных фотонов на работу проволочной камеры «шарпаковской» конструкции. Этот позиционно-чувствительный детектор представлял собой набор плоскостей из проволочных электродов, выполняющих роли анода и катода, подобно конструкции цилиндрического пропорционального счетчика.

Признаки стримерного режима в области ограниченной пропорциональности

В целях лучшего понимания рассматриваемого вопроса следует определить напряжение начала счета $U_{0в}$ гейгеровском режиме работы однотитяного счетчика как такое напряжение, при котором в результате вторичных процессов на катоде образуется по крайней мере один электрон. В этом случае между временем прохождения первичной ионизации и моментом регистрации данного события в виде импульса во внешней цепи имеется запаздывание. Оно может быть вызвано различными причинами и иметь неопределенную величину. Это запаздывание появления импульса объясняется тремя эффектами. Первичное излучение может произвести в любом месте детектора электрон, который приведет к лавинообразованию. Этот первый электрон, прежде чем он сможет образовать лавину, должен попасть в область с высокой напряженностью поля около анода. Наибольшее время, которое затрачивается на это, равно времени пробега электрона от катода к аноду. Наименьшее время пробега имеет электрон, образованный непосредственно около анода. Второй вид запаздывания возникает вследствие различной крутизны импульсов и зависит главным образом от внешней цепи питания и считывания сигнала. Оба эти процесса являются

причиной достаточно короткого времени запаздывания (примерно 10^{-7} с). Причиной более длительного запаздывания (до 10^{-4} с) является захват первичного электрона молекулой. Возникающий при этом отрицательный ион проходит расстояние от катода к аноду за более длительное время, чем электрон. Затем отрицательный ион теряет в области более сильного поля, что приводит к большому времени запаздывания лавинообразования. Этот эффект становится заметным лишь при наличии примеси газа с достаточно большим коэффициентом прилипания электрона (например, кислород и галогены).

При этом следует принять во внимание тот факт, что различные стадии газового усиления с переходом в область ограниченной пропорциональности, стримерный или гейгеровский режимы, а также тлеющий разряд и искру определяют внешними условиями, а именно давлением и составом газа, конфигурацией электродов, пучковой или фоновой загрузкой и др. Например, переход из области ограниченной пропорциональности при повышении напряжения на электродах может закончиться гейгеровским разрядом, если в газовой смеси отсутствует компонента, поглощающая жесткое ультрафиолетовое излучение. Другим путем может быть образование самогасящийся стримерный режим (СГС-режим) в присутствии значительной доли гасящей компоненты.

Согласно выводам, представленным в работе [4], возникновение СГС-режима определяется двумя условиями: необходимым и достаточным.

Необходимое условие вытекает из соответствия формуле

$$MAC = A \cdot N_0 \leq 10^8 \text{ электронов, (1)}$$

где MAC – максимальный заряд в таундсендовской лавине,

A – коэффициент газового усиления,

N_0 – число первичных электронов

Эта формула эмпирически выведена для случая образования предельного суммарного заряда в процессе лавинообразного размножения электронов в газе.

Достаточное условие можно также представить благодаря экспериментальным данным в соответствии с законом подобия, существующем в физике газового разряда, который предполагает наличие импульса-предшественника при переходе от одного типа разряда к другому.

Таким образом, применяя вышеназванные условия, можно представить следующую последовательность событий в случае задержки появления импульса и связанной с ней неопределенностью в положении рабочей точки на плато в гейгеровском счетчике. После прохождения первичного пучка ионизирующих частиц или одной частицы в газоразрядном промежутке появляются импульсы пропорционального режима с малой амплитудой порядка нескольких милливольт и длительностью не более нескольких десятков наносекунд. Затем с

неопределенной задержкой во времени возникают импульсы-предшественники (precursor, s) с амплитудой, на один-два порядка превышающей амплитуду импульсов пропорционального режима с длительностью порядка нескольких сотен наносекунд. Задержка в появлении импульса-предшественника находится в интервале от нескольких сотен наносекунд до нескольких сотен миллисекунд.

Исходя из вышеизложенного, достаточное условие перехода к стримерному режиму можно определить как вероятность образования вторичных или «затравочных» электронов в рабочем объеме газоразрядного детектора за счет неупругих соударений атомов и молекул II-рода в соответствии с выводами Мика [6]. Поскольку время жизни возбужденных и метастабильных атомов в газе может занимать достаточно длительный промежуток времени, вплоть до нескольких секунд, становится понятной задержка в появлении импульса-предшественника.

Возникающая в результате вторичного процесса размножения электронов ионизационная волна достигает поверхности катода и освобождает наведенный от предыдущей лавины отрицательный заряд, замыкая пространство между двумя противоположно заряженными областями посредством тонкого светящегося шнура или стримера. Поскольку этот процесс не связан с положительной обратной связью за счет жесткого ультрафиолетового излучения и ионной бомбардировки поверхности катода, есть все основания полагать, что в зоне ограниченной пропорциональности происхождение «увеличенных» импульсов и неопределенность в их появлении также связаны с выполнением критерия Ретера. При этом необходимое условие обеспечивается за счет большого газового усиления ($A \geq 10^6$), а достаточное условие выглядит как вероятностный процесс нахождения или создания в газовой среде «затравочных» электронов и определяется такими явлениями в газах, как метастабильный и неметастабильный эффекты Пеннинга, а также другими реакциями неупругих соударений II-рода. Согласно экспериментальным данным неопределенность во времени начала счета в низковольтных галогенных счетчиках типа СИ-3БГ из-за присутствия «увеличенных» импульсов (стримеров) может составлять интервал от 5 до 50 микросекунд [7]. Этот факт влияет на выбор положения рабочей точки на плато счетной характеристики счетчика таким образом, чтобы обеспечить высокую эффективность регистрации заряженных частиц и уменьшить частоту появления ложных импульсов.

Заключение

Появление «увеличенных» импульсов в области ограниченной пропорциональности в низковольтных галогенных счетчиках можно объяснить, если считать выполнение правила Ретера в качестве необходимого условия для развития предпробойного явления в форме стримера, а достаточным условием появления

стримера рассматривать вероятностный процесс нахождения или создания в газовой среде счетчика свободного или «затравочного» электрона. Оба эти условия выполняются при перпендикулярном облучении анодной проволоки счетчика, когда «работает» колонная рекомбинация и стример «помнит» направление облучения в отсутствие фотонной и ионной бомбардировки катода. При достижении напряжения на счетчике, равного U_0 , происходит образование коронного разряда за счет фотонной и ионной обратной связи, так что все импульсы приобретают одинаковую величину.

Литература

УДК 621.391
ГРНТИ 49.03

- 1.Фюнфер Э.,НейертГ., Счетчики излучений. Гос. изд.лит.в обл. науки и техн.М., 1961.
- 2.КорфС., Счетчики электронов и ядерных частиц. М., 1947.
- 3.CharpakG.,SauliF. // Nucl. Instrum. and Methods. 1971. V.96, P.363
- 4.RazinV.I. and ReshetinA.I. // Physics of Particles and Nuclei Letters, 2012,V.9., №1.P.58-61.
- 5.RaetherH. Electron avalanches and breakdowns in gases. Butterworths, Washington, 1964.
- 6.MeekJ.M., in: J.A.Rees (Ed.),Electrical Breakdown of Gases,Macmillan.London, 1973.
- 7.РазинВ.И, Исследование времени деионизации в низковольтных галогенных счетчиках, дипломная работа. МЭИ, М.,1967.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ МОЩНОСТИ СИГНАЛОВ С М-ИЧНОЙ ЧАСТОТНОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ ПРИ ЦЕЛОМ ЗНАЧЕНИИ ИНДЕКСА МОДУЛЯЦИИ

Приходько Андрей Иванович

*д-р техн. наук, профессор кафедры
оптоэлектроники*

Ромащенко Анастасия Александровна

*магистрант кафедры
оптоэлектроники*

Кубанский государственный университет, г. Краснодар

АННОТАЦИЯ

Получено выражение для спектральной плотности мощности сигналов с M -ичной частотной манипуляцией при целом значении индекса модуляции

ABSTRACT

The expression for power spectral density of M -ary frequency shift keying signals with integer modulation index is obtained.

Ключевые слова: частотная манипуляция, индекс модуляции, спектральная плотность мощности, преобразование Фурье,

Keywords: frequency shift keying, modulation index, power spectral density, Fourier transform. Equation Section 1

Сигнал с M -ичной частотной манипуляцией (МЧМ) на интервале времени $0 \leq t \leq T$ определяется выражением

$$u_i(t) = U_0 \cos(\omega_i t + \varphi_0), \quad (1)$$

где U_0 , и φ_0 – амплитуда и мгновенная начальная фаза сигнала соответственно; T – длительность элемента сигнала;

$$\omega_i = \omega_0 + \alpha_i \omega_d \quad (2)$$

– мгновенная частота сигнала, соответствующая передаче комбинации $\beta_i = (\beta_{i1} \beta_{i2} \dots \beta_{im})$ из $m = \log_2 M$ информационных двоичных символов; $M = 2^m$ при $m = 1, 2, \dots$; ω_0 и ω_d – средняя (несущая) частота и девиация частоты соответственно;

$$\alpha_i = 2i - (M + 1) \quad (3)$$

– величина M -ичного символа, отвечающая комбинации β_i при $i = 1, 2, \dots, M$;

Девиация частоты ω_d связана с разном частот

$$\Delta\omega = |\omega_i - \omega_{i+1}|, \quad i = 1, 2, \dots, M - 1 \quad (4)$$

равенством

$$\omega_d = \frac{\Delta\omega}{2}, \quad (5)$$

а индекс модуляции задается формулой

$$\beta = \frac{\omega_d T}{\pi}. \quad (6)$$

На бесконечном интервале времени сигнал с МЧМ имеет вид