



ДЕТЕКТОР ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ. СЧЕТЧИК ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА.

Цель работы: экспериментальное изучение и расчеты характеристик самогасящего газоразрядного счетчика.

Приборы и принадлежности: блок газоразрядных счетчиков БГС-4, блок питания УИП-1, пересчетный прибор ПП-16, осциллограф С1-20, вольтметр постоянного тока В7-16, радиоактивный препарат ${}^{204}_{81}\text{Tl}$. Препарат с маркировкой «1», «2» и Со60

Краткая теория: Счетчик Гейгера-Мюллера относится к ионизационным детекторам, работающим в режиме самостоятельного газового разряда. Счетчики Гейгера-Мюллера применяются для регистрации заряженных частиц (особенно релятивистских, обладающих малой ионизирующей способностью), так и для регистрации не заряженных частиц - нейтронов и γ -квантов (по вторичным эффектам протонам отдачи, фото- или комптон электронам, электронно-позитронным парам). В качестве наполняющих газов в большинстве случаев используются благородные газы - Ar, Ne , реже H_2, N_2 . Существуют счетчики Гейгера-Мюллера двух типов: несамогасящиеся и самогасящиеся. В несамогасящихся счетчиках для подавления вторичных эффектов на катоде применяют специальные схемы гашения или включение во внешнюю цепь резистора, и сопротивление которого очень велико ($10^8 - 10^9$ Ом). Однако, включение сопротивления значительно ухудшает разрешающую способность счетчика. В самогасящихся счетчиках к основному газу, заполняющему объем счетчика, добавляются специальные добавки, которые подавляют вторичные эффекты.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ НЕСАМОГАСЯЩЕГОСЯ СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА.

Несамогасящиеся счетчики заполняются инертным газом до давления 100-200 мм Hg столба. После прохождения через объем счетчика заряженной частицы электроны и ионы устремляются к соответствующим электродам. Электрон, попадая вблизи анода в электрическое поле большой напряженности, вызывает электронно-фотонную лавину. Фотоны вырывают из катода новые электроны (фотоэффект), которые под действием электрического поля устремляются к нити и снова образуют электронно-фотонную лавину. Этот процесс повторяется многократно, в результате чего объем счетчика охватывается коронным разрядом. Минимальная разность потенциалов между электродами, при которой возможна вспышка коронного разряда, называется "потенциалом зажигания" счетчика $U_{\text{зж}}$. Электроны собираясь около нити образуют пространственный положительный заряд. Он гасит развитие коронного заряда. Ионы в свою очередь подходят к катоду и нейтрализуются на нем, но могут вырвать с поверхности катода электрон. Если к этому времени потенциал между катодом и анодом будет $= U_{\text{зж}}$, то этот электрон опять направиться к аноду и сможет вызвать электронно фотонную лавину. Таким образом при прохождении всего одной частицы в счетчик может возникнуть «очередь» импульсов. Чтобы это произошло, можно воспользоваться либо схемой гашения, поддерживающей разность потенциалов между электродами меньше величины $U_{\text{зж}}$ до тех пор, пока все положительные ионы не нейтрализуются на катоде, либо включить в цепь счетчика резистор с большим R , которое будет препятствовать быстрому восстановлению U на электродах счетчика. Обусловленная этим процессом длительность электрического импульса должна быть много больше времени собирания положительных ионов ($\tau_{\text{соб}}$ ионов 10^{-4} с). Длительность импульса и, следовательно, разрешающее время несамогасящегося счетчика оказывается очень большим ($10^{-3} - 10^{-2}$ с).

Разрешающая способность N_p счетчика определяется временем длительности импульса τ , называемым мертвым временем

$$N_p = \frac{1}{\tau} \quad (2.1)$$

Чем меньше мертвое время, тем больше число ионизирующих частиц может зарегистрировать счетчик за единицу времени.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ САМОГАСЯЩЕГОСЯ СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА.

Самогасящиеся счетчики наполняются смесью газов, состоящей из 90% "основного" газа (Ar или Ne) и 10% паров примесного газа. В качестве примесного газа используются различные многоатомные пары органических веществ: пары спирта, этилена, метилена и др. Молекулы газов-наполнителей имеют более низкие потенциалы ионизации по сравнению с атомами основного наполнителя (энергия ионизации Ar 15.7 эВ, а паров спирта 11.3 эВ).

Наличие примесного газа существенно изменяет характер процессов в объеме счетчика. Прежде всего молекулы примеси, потенциал которых меньше, чем потенциал возбуждения молекул основного газа, интенсивно захватывают фотоны, образующиеся в электронно-фотонных лавинах. Вследствие чего фотоэффект происходит не на катоде, а на молекулах примесного газа. Это приводит к тому, что разряд распространяется от места образования первичных лавин вдоль нити счетчика.

Несмотря на существенное различие в протекании активной стадии разряда, она заканчивается точно также как в несамогасящихся счетчиках образованием положительного пространственного заряда вблизи нити. Пространственный заряд приводит к затуханию электронно-фотонных лавин. Как в несамогасящихся счетчиках, положительные ионы под действием поля перемещаются к катоду. Однако по пути к катоду ионы основного газа испытывают большое число соударений с молекулами органической компоненты. А так как потенциал ионизации молекул основного газа выше, чем потенциал ионизации органических паров, то ионы аргона с большей вероятностью нейтрализуются на молекулах органических газов, переводя их из возбужденных состояний в основное.

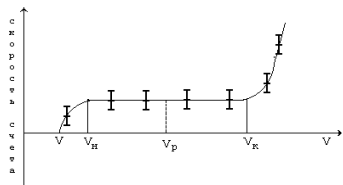
В результате на катод счетчика поступают не ионы инертных газов, а ионы органических молекул, обладающие меньшей энергией. При подходе к поверхности катода ионы органических молекул (например, спирт) нейтрализуются. Остаток энергии возбужденная нейтральная молекула спирта расходует, распадаясь на составные части. Молекула спирта может распасться на молекулы ацетилена, метана, кислорода и др. В счетчике средних геометрических размеров имеется около 10^{20} молекул спирта. Так как при каждом разряде в таком счетчике диссоциирует $\approx 10^{10}$ ионов спирта, то через 10^{10} импульсов все молекулы распадутся. Это приводит к старению счетчика, которое замечается по изменению его характеристик: увеличению наклона плато, увеличению потенциала зажигания разряда и др. Самогасящийся счетчик с органическими примесными газами имеет ограниченный срок службы, определяемый числом импульсов зарегистрированных счетчиком. Это является недостатком таких самогасящихся счетчиков по сравнению с несамогасящимися.

От этого недостатка свободны галогенные счетчики, в которых к благородному газу добавляется, как указывалось выше, небольшое количество Cl_2 или Br_2 (обычно 0.1%).

Галогенные счетчики имеют преимущество перед счетчиками с органическими носителями. Во-первых, двухатомные молекулы галогенов восстанавливаются после диссоциации, что удлиняет срок службы счетчика. Во-вторых, галогенные счетчики имеют низкое рабочее напряжение ($\approx 300В$). Например, неоновый счетчик с примесью 0.1% Ar или 0.1% галогена имеет такое рабочее напряжение.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЧЕТЧИКА.

- 1) Счетная характеристика счетчика.- диапазон напряжений в счетчике, при которых счетчик зафиксирует каждую частицу, образовавшуюся хотя бы 1 пар ионов.



- 2) Другой важной характеристикой детектора является его эффективность. Если частицы на своем пути в газовом объеме в среднем создают N пар ионов, то имеется вероятность e^{-N} , что не будет образована ни одна пара ионов на этом пути. Следовательно, эффективность счетчика будет

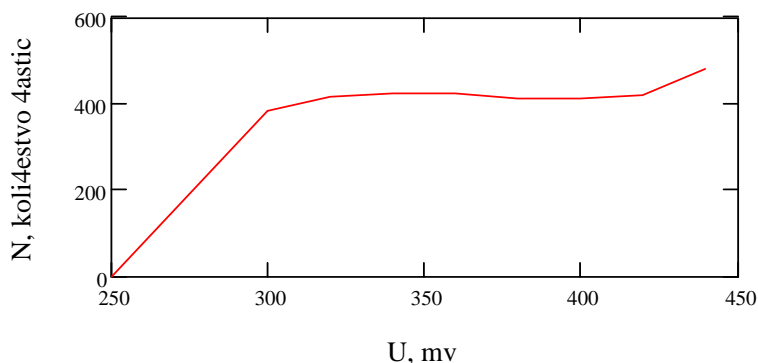
$\eta = 1 - e^{-N} = 1 - e^{-v_0 l p}$, v_0 - первичная удельная ионизация, производимая частицей на пути в 1 см при нормальном давлении, l - путь частицы в см; p - давление газа в рабочем объеме счетчика в Паскалях.

Частицы, попавшие в счетчик в начальной стадии развития разряда, вообще не регистрируются. Этот интервал носит название - мертвое время счетчика τ . Промежуток времени, необходимый для полного восстановления величины импульса после окончания мертвого времени, называется временем восстановления t_0 . Мертвое время определяет минимальный промежуток времени, которым должны быть разделены пролеты ядерных частиц через счетчик для того чтобы они были зарегистрированы отдельно. Наблюдаемая V и истинная V_0 скорости счета связаны соотношением:

$$V_0 = \frac{V}{1 - V \cdot \tau}$$

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

- 1) Снять счетную характеристику. Время счета частиц: 100секунд



U, mv	N
280	0
300	384
320	416
340	425
360	423
380	413
400	411
420	419
440	480

Счетная Характеристика напоминает идеальную. Имеет плато, и наклоны
 Из полученной характеристики определяем $U_{зж} = 320$ мв (напряжение начала плато)
 $U_{раб} = \text{середина плато} = 360$ мв

2) Измерить мертвое время счетчика.

образцы	Время счета	Количество зарегистрированных частиц	Скорость счета, част/с
«2»	100 сек. = t	15253 = v1	152,53 = V_{02}
«1» + «2»		19545 = v12	135,45 = $V_{01,2}$
«1»		5200 = v2	52 = V_{01}
ФОН		391	3,9

V_{01} -- скорость счета при облучении первым препаратом

V_{02} -- скорость счета при облучении вторым препаратом

$V_{01,2} = V_{01} + V_{02}$ -- скорость счета при облучении двумя препаратами

$V1 = v01 * t, v2 = v02 * t, v12 = v1 + v2$

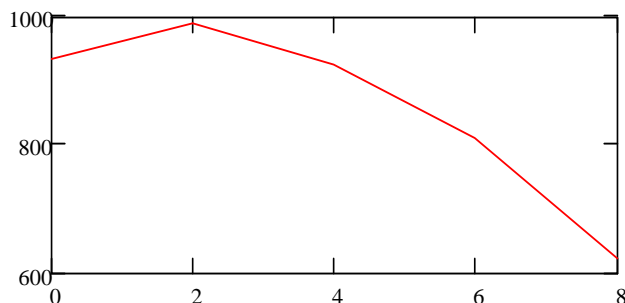
Измерение фона после эксперимента отличается от рабочего количества частиц/с не более чем на 10% => внешние условия не изменились, эксперимент можно считать достоверным.

Условие $V_1 + V_2 > V_{12}$ выполняется: $152 + 52 > 135$

$$\tau \approx \frac{V_1 + V_2 - V_{12}}{2V_1V_2} = \frac{(15253 + 5200 - 19545)}{(2 * 15253 * 5200)} = 5.72e-6 \sim 6 \text{ мсек}$$

Максимальное время счета ~ 174704 штук в секунду

3) Измерение количества частиц от расположения препарата относительно центра счетчика. Препарат С60



Смещение относительно центра, см	Время счета, сек	Количество частиц	Скорость счета
0	100	935	9,35
2		989	9,89
4		926	9,26
6		810	8,10
8		621	6,21

4) добавление алюминиевого кольца уменьшает число частиц за 100 секунд с 989 до 741

5) телефон Siemens C75 при принятии вызова с телефона Q-tek i-mate через канал компании СМАРТС-ярославль: 631 шт/сек

Выводы:

Изучили несамогасящий счетчик Гейгера-Мюллера.

Рассчитали его основные параметры: $U_{зж}$, Мертвое время, Максимальное время счета

Сняли его счетную характеристику. Счетчик, наверно, хороший.