

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ**

ГАЙНОВ Р.Р., ДУЛОВ Е.Н., ВАГИЗОВ Ф.Г.

**РЕГИСТРАЦИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ.
СЧЕТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА**

Печатается по решению

Редакционно-издательского совета

ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Учебно-методической комиссии Института физики

Протокол № 4 от 17 июня 2013 г.

Заседания кафедры физики твердого тела

Протокол № 16 от 7 июня 2013 г.

Авторы:

канд. физ.-мат. наук, ассистент Гайнов Р.Р.

канд. физ.-мат. наук, доцент Вагизов Ф.Г.

канд. физ.-мат. наук, ассистент Дулов Е.Н.

Рецензент:

канд. физ.-мат. наук Манапов Р.А.

**РЕГИСТРАЦИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ. СЧЕТНАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА.** Учебно-методическое
пособие / Р.Р. Гайнов, Е.Н. Дулов, Ф.Г. Вагизов // Казань: Казанский
(Приволжский) федеральный университет, 2013. – 20 с.

Аннотация

В учебно-методическом пособии представлены основные принципы и закономерности работы счетчиков Гейгера, а также области их практического применения. Рассмотрены свойства счетчиков, вопросы регистрации импульсов, некоторые теоретические и конструктивные вопросы, освещены аспекты радиоактивности, дозиметрии. В пособии содержится описание лабораторной работы с использованием счетчика Гейгера и ход ее выполнения с целью практического закрепления теоретического материала. Самостоятельная работа студентов со счетчиком Гейгера основана на оборудовании фирмы Leybold Didactic GmbH (Германия). Пособие предназначено для студентов Института физики, изучающих общий физический практикум по курсам «Физика атомного ядра и частиц» и «Ядерная физика». Пособие будет также полезным широкому кругу студентов и аспирантов других специальностей (геология, химия, биология).

© Казанский федеральный университет, 2013

© Гайнов Р.Р., Дулов Е.Н., Вагизов Ф.Г., 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Радиоактивность и дозиметрия: некоторые понятия	4
1.1. Дозиметрия, ионизирующее излучение	4
1.2. Радиоактивность	5
2 Основные характеристики детекторов ИИ	6
3 Газонаполненные детекторы	6
3.1. Общая конструкция газонаполненных детекторов	6
3.2. Режимы работы газонаполненных детекторов	7
4 Счетчик Гейгера	10
4.1. Несамогасящиеся и самогасящиеся счетчики Гейгера	11
4.2. Разрешающее время счетчиков Гейгера	12
4.3. Счетная характеристика счетчика Гейгера	13
4.4. Конструкции счетчиков Гейгера	15
4.5. Области применения счетчиков Гейгера	15
5 Ход выполнения лабораторной работы	16
Вопросы для самоконтроля	19
Литература	20

Введение

Цель настоящей работы – знакомство с явлением радиоактивности, базовыми закономерностями и основами ее регистрации с использованием детекторов ионизирующего излучения. Одним из наиболее старейших и распространенных подобных детекторов является счетчик Гейгера-Мюллера. Практическая часть работы включает знакомство с техникой и методикой использования счетчика Гейгера-Мюллера на примере регистрации излучения комбинированного препарата радия, стронция и цезия.

1. Радиоактивность и дозиметрия: некоторые понятия

Знание процессов распада радиоактивных ядер, идентификация излучаемых при этом частиц, исследование взаимодействия таких частиц с веществом необходимы для понимания и решения практических вопросов в области технологий и экологии [1-3]. Данный раздел поясняет смысл радиоактивности и необходимость ее контроля.

1.1. Дозиметрия, ионизирующее излучение

В последние десятилетия в обществе вызывает особое беспокойство различные применения *ионизирующего излучения* в энергетике, промышленности, медицине. Неграмотное обращение с ионизирующим излучением – преступление, которое может повлечь за собой нанесение вреда здоровью человеку, животным и окружающей среде или даже в особых сложных случаях подвергнуть их смертельной опасности. Знание и грамотное использование физических основ *дозиметрии* и *радиационной безопасности* позволяет правильно оценить и пользу, и опасность, которую несет радиация.

Радиационная безопасность – научно-практическая дисциплина, направленная на разработку и применение организационно-технических мер безопасности для защиты людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения. Радиационная безопасность включает в себя радиационный контроль, в основе которого лежит дозиметрия.

Дозиметрия ионизирующего излучения – самостоятельный раздел ядерной физики и техники, в котором рассматриваются свойства ионизирующих излучений, их взаимодействие на человека и среду, а также методы и средства измерения физических величин, характеризующие эти взаимодействия. Счетчик Гейгера-Мюллера относится к подобным средствам измерения.

Ионизирующее излучение – излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков. Видимый свет и ультрафиолетовое излучение в термин «ионизирующее

излучение» не включается. *Непосредственно ионизирующее излучение* (НИИ) – излучение, состоящее из заряженных частиц, кинетическая энергия которых достаточна для ионизации большого числа атомов. *Косвенно ионизирующее излучение* (КИИ) – излучение, состоящее из фотонов и незаряженных частиц, взаимодействие которых со средой может приводить к передаче энергии электронам, приобретающих свойства НИИ. *Источниками ионизирующего излучения* (ИИИ) являются радиоактивные вещества, технические устройства и космическое пространство.

1.2. Радиоактивность

При определенных условиях ядра атомов вещества и элементарные частицы подвержены *превращениям* – необратимым изменениям своего состава и свойств. Превращения, происходящие в результате столкновений ядер и (или) частиц, называются *ядерными реакциями*. Число вариантов таких превращений не ограничено. Некоторые ядра и подавляющее большинство элементарных частиц испытывают самопроизвольные превращения – *распады*. Самопроизвольное превращение ядер называется *радиоактивным распадом*, или *радиоактивностью*.

Наиболее распространенными являются два вида радиоактивных превращений: альфа-распад и бета-распад. *Альфа-радиоактивностью* называется процесс испускания некоторым ядром (так называемое материнское ядро) положительно заряженных альфа-частиц – ядер гелия ${}^4_2\text{He}$. *Бета-радиоактивность* представляет собой самопроизвольное испускание ядрами бета-частиц: электронов или позитронов. Третий вид радиоактивного излучения – *гамма излучение*, в подавляющем большинстве случаев является процессом, сопровождающим альфа- или бета-распад. Термин гамма-излучение впервые появился при анализе различных типов радиоактивного излучения: так (третьей буквой греческого алфавита) было названо излучение радиоактивных ядер, не отклоняющееся в магнитном поле. По существу, это электромагнитное излучение при переходе ядер из возбужденного состояния в основное. Диапазон энергий фотонов (гамма-квантов) условно начинается с E_γ порядка 10^3 эВ ($\lambda < 10^{-9}$ м). Нижний предел этого диапазона перекрывает энергии характеристического рентгеновского излучения. Энергия гамма-квантов превосходит энергию химической связи и энергию ионизации внешних оболочек атомов (~ 10 эВ). Известны и другие виды радиоактивных превращений: нейтронная, протонная радиоактивность, спонтанное деление тяжелых ядер и др.

Взаимодействие различных видов радиоактивного излучения с веществом может приводить к вторичному радиоактивному излучению. Так,

например, тормозное гамма-излучение возникает при торможении бета-частиц в веществе. Наоборот, гамма-излучение обуславливает фотоионизацию внутренних электронных оболочек атомов вещества, т.е. появление фотоэлектронов (бета-излучение).

2. Основные характеристики детекторов ИИ

Детектором называют устройство, позволяющее преобразовать энергию ионизирующего излучения в электрический импульс. Несмотря на большое многообразие различных типов детекторов, можно выделить общие для всех характеристики, которые определяют их применимость в каждом конкретном случае.

1. *Эффективность* – величина, показывающая долю зарегистрированных детектором частиц из всех попавших в рабочий объем детектора или на его поверхность. Эта величина колеблется от 1 до 0,01 в зависимости от вида излучения и типа детектора.

2. *Временное разрешение (разрешающее время)* – наименьший промежуток времени между попаданиями двух частиц, при котором могут быть зарегистрированы обе частицы отдельно. Другими словами, эта величина характеризует быстродействие детектора и определяется главным образом длительностью процессов, происходящих в детекторе после пролета частицы, а также быстродействием электронной аппаратуры.

3. *Энергетическое разрешение* – отношение ширины пика амплитудного распределения импульсов на половине высоты пика к величине, характеризующей положение «центра тяжести» данного пика на шкале амплитуд. Данный параметр обусловлен тем фактом, что импульсы от частиц с одинаковой энергией будут иметь некоторый разброс амплитуд вследствие статистических флуктуаций числа актов возбуждения и ионизации атомов, которые производят частицы. В результате две группы частиц, близких по энергии, могут восприниматься как одна группа (т.е. не будут разрешены). Дополнительными факторами, обуславливающими разброс величины импульса от частиц с одинаковой энергией, могут служить неоднородность рабочего вещества датчика, флуктуации, шумы и дрейфы в электронной аппаратуре.

3. Газонаполненные детекторы

3.1. Общая конструкция газонаполненных детекторов

Газонаполненные детекторы, благодаря хорошей чувствительности к излучениям разных видов, простоте и дешевизне, являются самыми распространенными приборами регистрации [4-6]. Такой детектор обычно

представляет собой тонкостенную цилиндрическую камеру из стекла, покрытую изнутри тонким слоем металла, а в некоторых случаях – сделанную прямо из металла. По оси камеры натянута металлическая нить. Камера во многих случаях заполняется инертным газом (аргон, ксенон и др.) с небольшим примесью других газов (например, CH_4). Нить служит анодом, стенки камеры – катодом.

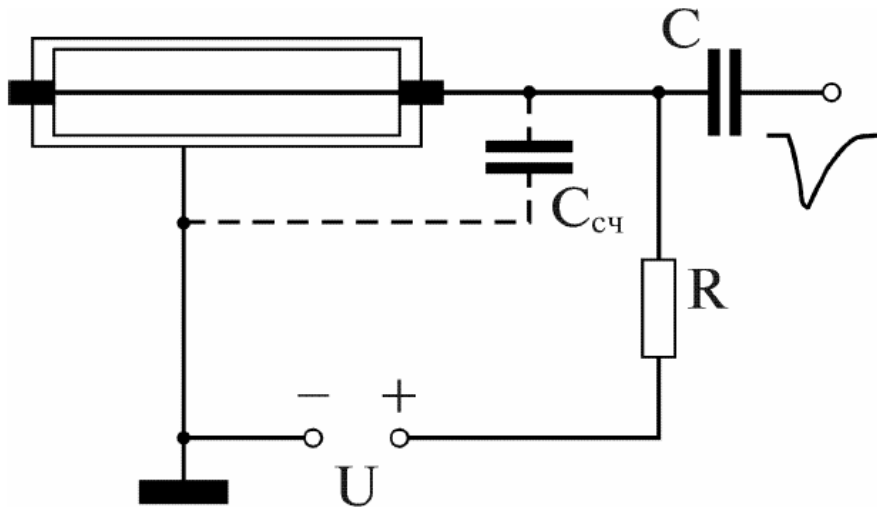


Рис. 1. Схема включения газоразрядного детектора.

На рис. 1 изображена схема включения датчика в электрическую цепь. Нить – анод – присоединена к источнику высокого напряжения U через нагрузочное сопротивление R . След из положительных ионов и электронов, созданный в газе частицей, разрушается электрическим полем. Электроны устремляются к нити, ионы – к катоду, создавая импульс тока в цепи и импульс напряжения ΔV на сопротивлении R . Этот импульс напряжения через конденсатор C подается на вход измерительной аппаратуры. Емкость $C_{сч}$ – обычно емкость самого датчика плюс входная емкость схемы; она составляет около 10 пф.

3.2. Режимы работы газонаполненных детекторов

Газовым разрядом называется явление протекания ионизационного тока через газы. Вольт-амперная характеристика газового разряда показывает зависимость ионизационного тока или амплитуды импульса ΔV от напряжения на электродах U при постоянной интенсивности ионизирующего излучения в газе (рис. 2).

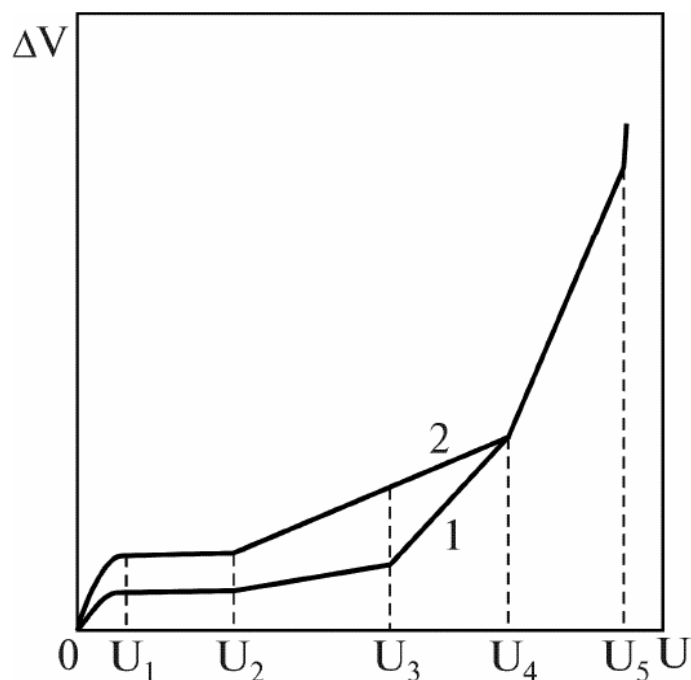


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика газонаполненных детекторов. Диапазон напряжений от U_4 до U_5 носит название области Гейгера-Мюллера.

Кривые 1 и 2 на рис. 2 соответствуют частицам, создающим различную величину первоначальной ионизации газа в объеме счетчика. На первом участке, от 0 до U_1 , ток пропорционален напряжению. Этот участок называется областью закона Ома. В этой области не все образовавшиеся ионы достигают электродов. Часть положительных ионов и электронов при столкновениях между собой рекомбинируют. С увеличением напряжения растет скорость направленного движения ионов. Поэтому вероятность рекомбинации ионов уменьшается, и на электроды попадает все больше ионов. На втором участке напряжений, от U_1 и U_2 , ионизационный ток практически постоянен, так как почти все ионы первичной ионизации собираются на электродах, а других источников зарядов в газе нет. Эта область называется областью насыщения, а ток – током насыщения I_n . В этой области напряжений работают *ионизационные камеры*. В области напряжений $U_1 > U_2$ ионизационный ток возрастает с увеличением U , благодаря вторичной ионизации. Напряженность электрического поля в датчике на расстоянии r от нити имеет вид:

$$E(r) = \frac{U}{r \cdot \ln(r_k / r_n)}, \quad (1)$$

где r_k и r_n – радиусы катода и нити соответственно. В непосредственной близости от нити поле возрастает до такой величины, что электрон, попавший

в эту область, приобретает на пути между двумя столкновениями кинетическую энергию, достаточную для ионизации атомов газа. Электроны вторичной ионизации вместе с электронами первичной при последующих столкновениях ионизируют другие атомы. Происходит лавинообразное размножение зарядов. Количество пар ионов m в лавине длиной l , вызванной одним электроном, определяется соотношением

$$m = \exp\left(\int_0^l \alpha(r) dr\right), \quad (2)$$

где $\alpha(r)$ – коэффициент ударной ионизации, равный числу пар ионов, образованных одним электроном на единице длины пути. Величина m одинакова для всех первичных электронов, так как область образования лавин вблизи нити занимает небольшую часть объема датчика ($l \approx 10^{-2}$ см) и, следовательно, почти вся первичная ионизация происходит вне этой области. После попадания лавины электронов на анод газовый разряд не заканчивается. Нейтральные молекулы газа, возбужденные в лавине при соударениях с электронами, испускают фотоны. При нейтрализации положительных ионов газа на катоде также образуются фотоны. Часть из образовавшихся в обоих случаях фотонов будет иметь энергию, достаточную для вырывания из катода фотоэлектронов, которые начинают двигаться к нити. Так возникает вторая, затем третья и т. д. лавины (после первичного разряда). Временная задержка между разрядами определяется в основном временем движения ионов от нити к катоду ($\sim 10^{-4}$ сек).

Пусть γ – вероятность выбивания из катода фотоэлектрона для одной ионной пары в первичной лавине, m_1 – число ионных пар в первичной лавине, N_0 – число первичных лавин (число первичных ионных пар, образуемых в газе частицей). Тогда в газ из катода будет выбито $N_0 \gamma m_1$ фотоэлектронов. Каждый фотоэлектрон дает начало новой лавине, в которой образуется столько же ионных пар m_1 , как и от первичного электрона в основной лавине. Количество ионных пар во всех вторичных лавинах будет равно $m_1(N_0 \gamma m_1) = N_0 \gamma m_1^2$, а в n -ых – $N_0 \gamma^{n-1} m_1^n$. Общее число ионных пар во всех лавинах будет равно $N = \sum N_0 \gamma^{n-1} m_1^n$ (сумма по n , n меняется от 1 до ∞). Этот ряд представляет собой геометрическую прогрессию со знаменателем γm_1 . Если $\gamma m_1 > 1$, то сумма ряда бесконечна, что означает, что в газе возникает незатухающий газовый разряд.

Вероятность γ обычно невелика ($\gamma \approx 10^{-4}$), так что при не очень высоких рабочих напряжениях (от U_2 до U_3) величина $\gamma m_1 < 1$. В этом случае в каждой последующих лавинах образуется меньше пар ионов, чем в предыдущих, и

газовый разряд затухает со временем. Число N при этом имеет конечное значение, равное сумме убывающей геометрической прогрессии:

$$N = N_0 \cdot \frac{m_1}{1 - \gamma \cdot m_1}. \quad (3)$$

Из этого выражения находим коэффициент газового усиления A :

$$A = \frac{I}{I_H} = \frac{N}{N_0} = \frac{m_1}{1 - \gamma \cdot m_1}. \quad (4)$$

Если плотность ионного облака, возникающего в лавинах, не изменяет существенно электрического поля в датчике, то величины γ и m_1 , и, следовательно, коэффициент усиления A не будут зависеть от первичной ионизации. Область напряжений от U_2 до U_3 , где это условие выполняется, называется областью пропорционального усиления. В этой области работают пропорциональные счетчики. Их основным достоинством является возможность измерения энергии частиц, так как величина импульса пропорциональна первичной ионизации и, следовательно, энергии частицы. С повышением напряжения U коэффициент усиления A в области пропорциональности изменяется по нелинейному закону от 1 до 10^2 - 10^4 .

В области напряжений $U > U_3$ плотность ионного облака становится значительной. Электроны первичных лавин собираются анодом за время порядка 10^{-6} сек, положительные ионы за это время смещаются незначительно и образуют вокруг нити облако, которое снижает напряженность поля вблизи нити, и, следовательно, уменьшает величину A . Теперь A оказывается зависящей от величины первичной ионизации, причем, чем больше последняя, тем меньше коэффициент газового усиления. Область от U_3 до U_4 носит название области ограниченной пропорциональности.

В области $U > U_4$ величина $\gamma m_1 > 1$ и разряд становится незатухающим. Специальные меры для гашения разряда позволяют, однако, сделать его импульсным. Эта область напряжений (от U_4 до U_5) носит название области Гейгера-Мюллера. Выше этой области происходит самопроизвольный пробой газа, и разряд становится неуправляемым.

4. Счетчик Гейгера

Счетчик Гейгера (также известный, как счетчик Гейгера-Мюллера) – один из наиболее распространенных газонаполненных детекторов частиц, действие которого основано на возникновении самостоятельного электрического разряда в газе при попадании частицы в его объем. Изобретен Х. Гейгером и Э. Резерфордом, позднее был усовершенствован Гейгером и В. Мюллером. Счетчик Гейгера предназначен для регистрации заряженных

частиц. Он пригоден также для детектирования нейтронов, рентгеновских и гамма-квантов по вторичным заряженным частицам, генерируемым ими (например, нейтронные детекторы). Функционирует счетчик Гейгера в области Гейгера-Мюллера (рис. 2).

В области Гейгера-Мюллера газовый разряд является незатухающим, но остается вынужденным, т.е. самопроизвольного пробоя газа не происходит. В этой области становится существенной ионизация атомов газа жесткими ультрафиолетовыми фотонами ($\lambda \sim 1000 \text{ \AA}$), возникающими при ударном возбуждении в лавине. Этот процесс приводит к быстрому образованию электронно-ионных лавин вблизи нити вдоль всей ее длины. Кроме того, число образуемых таким образом лавин так велико, что развитие разряда почти не зависит от величины первичной ионизации. Газовый разряд охватывает одинаково весь объем вблизи нити счетчика при появлении в газе и одной, и нескольких тысяч ионных пар. Коэффициент газового усиления достигает 10^{10} , а амплитуда импульса $\Delta V \sim 1-10 \text{ В}$. В счетчиках Гейгера появлению заряженной частицы в газе будет соответствовать один импульс напряжения. С этой целью в данных счетчиках длительный газовый разряд специально обрывают сразу же после первого основного разряда.

4.1. *Несамогасящиеся и самогасящиеся счетчики Гейгера*

Различают *несамогасящиеся* и *самогасящиеся* счетчики Гейгера. Они отличаются способом обрыва длительного газового разряда. Как следствие, они отличаются составом газовой смеси и быстродействием.

Относительно медленные *несамогасящиеся* счетчики Гейгера требуют надежного гашения разряда и подготовки детектора к регистрации следующей частицы путем применения дополнительных электронных устройств. Это достигается специальной схемой или введением высокоомного сопротивления R в цепь питания счетчика (рис. 1, $R \sim 10^9 \text{ Ом}$). Качественно, данная конструкция приводит к следующему. На нити скапливается отрицательный заряд, разность потенциалов между катодом и анодом уменьшается, и разряд обрывается, после чего чувствительность счетчика Гейгера восстанавливается через время порядка 10^{-2} с (время разрядки емкости $C_{сч}$ счетчика через сопротивление R). Более детально, в *несамогасящихся* счетчиках газовый разряд гасится выбором постоянной времени $\tau = RC$ так, чтобы она на два порядка превышала время движения положительных ионов от анода к катоду. После начала газового разряда напряжение на сопротивлении R падает настолько, что напряжение U на аноде становится меньше порогового U_n (напряжение, при котором газовый разряд охватывает всю область вдоль нити). Такое напряжение анода

поддерживается примерно 10^{-2} сек. Положительные ионы первой лавины подходят к катоду через 10^{-4} сек., затем в газе появляются фотоэлектроны. Так как $U < U_n$, то в газе протекает затухающий газовый разряд. В течение 10^{-2} сек. газовый разряд в счетчике затухает, и счетчик снова может зарегистрировать заряженную частицу. Разрешающее время несамогасящихся счетчиков составляет 10^{-2} - 10^{-3} сек. Поэтому ими регистрируют небольшие потоки частиц.

В быстрых самогасящихся счетчиках разряд гасится внутри самого счетчика. Для этого к чистому газу (аргон, неон, гелий и др.) добавляют гасящую примесь газа (до 10%), состоящего из органических многоатомных молекул (метан, этилен, метилен, пары спирта). Молекулы многоатомных газов-добавок имеют более низкие потенциалы ионизации по сравнению с основными газами. Положительные ионы, сталкиваясь с молекулами примесей, отнимают у последних электроны и нейтрализуются. Образовавшиеся ионы гасителей уже не в состоянии выбить электроны с катода. Тем самым блокируется механизм *фотоэффекта* – генерации электронов с поверхности катода, что обеспечивает самопроизвольное гашение разряда. Кроме того, молекулы примесей сильно поглощают ультрафиолетовое излучение, но при этом не испускают фотоэлектроны, а диссоциируют на нейтральные радикалы (органические молекулы). За один газовый разряд в счетчике диссоциирует около 10^{10} примесных молекул. Разрушение органических молекул необратимо и ведет к ограничению срока службы счетчика. Подобные самогасящиеся счетчики Гейгера из-за диссоциации многоатомных молекул выдерживают лишь 10^8 - 10^9 срабатываний. Если вместо многоатомной добавки использовать вещества, состоящих из галогенных молекул Cl_2 , Br_2 , I_2 (0,1 %), а в качестве основного газа неон или гелий с примесью аргона, то срок службы счетчиков Гейгера становятся практически неограниченными. Это объясняется тем, что после диссоциации атомы галогена вновь объединяются в молекулы. Вторым преимуществом галогенных самогасящихся счетчиков Гейгера является низкое рабочее напряжение, меняющееся в пределах 200-400 В, но их быстродействие существенно ниже и определяется временем дрейфа ионизированных молекул галогенов к катоду. Время нечувствительности самогасящегося счетчика Гейгера $\sim 10^{-4}$ с.

4.2. Разрешающее время счетчиков Гейгера

Разрешающее время счетчиков Гейгера-Мюллера характеризуется мертвым временем и временем восстановления (рис. 3). После срабатывания в момент $t_0 = 0$ счетчик теряет возможность обнаружить частицы до тех пор,

пока напряженность поля не достигнет в момент t_1 гейгеровского порога (U_n). Это время полной нечувствительности счетчика или мертвое время. Мертвое время определяется скоростью движения ионов в газе и конструкцией счетчика.

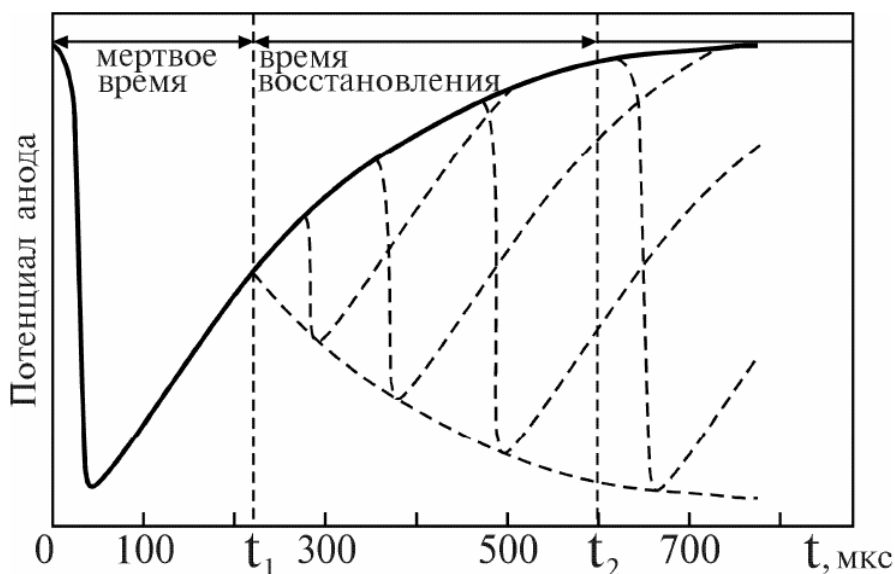


Рис. 3. Диаграмма работы счетчика Гейгера.

С момента времени t_1 счетчик вновь регистрирует попадающие в него частицы. Однако амплитуда импульсов (см. пунктирные кривые на рис. 3) вначале ниже некоторой минимальной величины, при которой измерительная аппаратура начинает фиксировать импульсы. Амплитуды импульсов достигают этого порога чувствительности аппаратуры в момент времени t_2 . Период времени между t_1 и t_2 называется временем восстановления. Интервал времени между возбуждением разряда и возвращением к рабочей точке в момент t_2 и будет разрешающим временем счетчика.

4.3. Счетная характеристика счетчика Гейгера

Счетная характеристика счетчиков Гейгера-Мюллера представляет собой зависимость скорости счета от приложенного напряжения при постоянной интенсивности ионизирующего излучения (рис. 4). При значениях напряжения на счетчике $U < U_4$ (рис. 2), лежащих ниже гейгеровской области, импульсы имеют различную амплитуду. Регистрирующая радиоэлектронная схема обладает некоторым порогом чувствительности и регистрирует только самые большие из них. С ростом напряжения на счетчике растет число импульсов, амплитуда которых достаточна для регистрации. Соответствующий участок характеристики изображен участком *AB*.

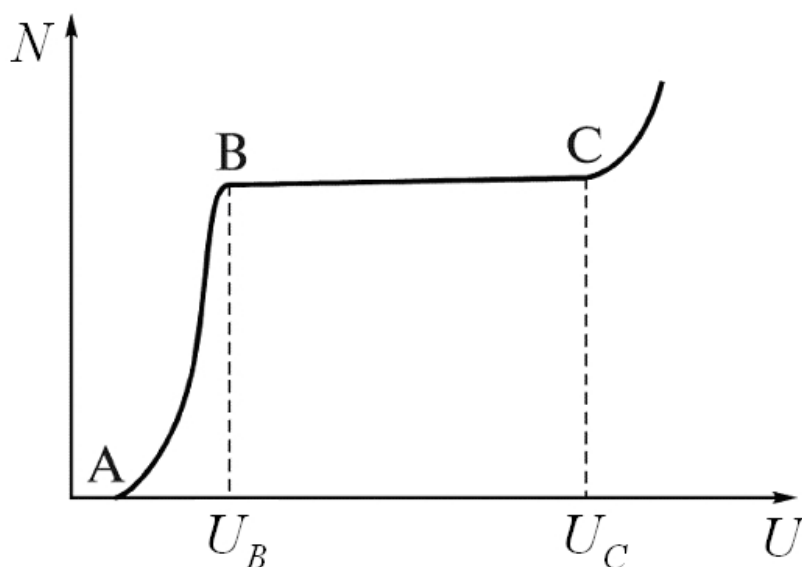


Рис. 4. Счетная характеристика счетчика Гейгера.

В области Гейгера-Мюллера $U_4 < U < U_5$ каждая ионизирующая частица вызывает импульс с большой амплитудой, достаточной для регистрации его радиоэлектронной схемой. На участке BC счетной характеристики (рис. 4), что соответствует области $U_4 < U < U_5$ вольт-амперной характеристики (рис. 2), у идеально работающего счетчика скорость счета не зависит от U и определяется числом пар ионов, образующихся в счетчике при попадании в него ионизирующей частицы. В действительности же наблюдается увеличение зарегистрированных импульсов при увеличении U . Это объясняется тем, что с ростом напряжения растет число двойных импульсов. Регистрирующая схема с большой разрешающей способностью считает отдельно каждый компонент двойного импульса, вследствие чего с ростом напряжения скорость счета несколько возрастает.

Область напряжений, где скорость счета остается почти неизменной, называется «плато» счетчика. Плато является рабочей областью напряжений, при которых производятся измерения со счетчиками. У хороших счетчиков плато простирается на 100-200 В, а увеличение скорости счета при напряжении U_C по сравнению с U_B составляет всего лишь несколько процентов.

В самогасящихся счетчиках, по мере распада многоатомных молекул газа – наполнителя, счетная характеристика постепенно ухудшается: уменьшается протяженность плато и увеличивается его наклон. Кроме того, в результате изменений в составе газовой смеси и повышения давления вследствие распада молекул, с течением времени плато счетчика сдвигается в

сторону высоких напряжений. Поэтому при эксплуатации счетчиков следует время от времени проверять их счетную характеристику с тем, чтобы правильно устанавливать рабочее напряжение.

Величину последнего выбирают такой, чтобы она соответствовала середине плато.

4.4. Конструкции счетчиков Гейгера

Конструкции газоразрядных счетчиков довольно разнообразны. Счетчики широкого применения, выпускаемые серийно, бывают двух основных типов: цилиндрические и торцевые. В цилиндрический счетчик частица попадает через его стенку, которая не может быть слишком тонкой. В торцевом счетчике для входа частиц имеется окно в его торце (доньшке), закрытое тонкой слюдяной, металлической или органической (лавсановой) пленкой. Торцевые счетчики используются для регистрации α -излучения и β -излучения малых энергий. Реже применяются так называемые проточные счетчики, в которых радиоактивный излучатель помещается в рабочий объем счетчика, после чего последний заполняется газом или продувается равномерным потоком газа.

4.5. Области применения счетчиков Гейгера

Эффективность счетчиков Гейгера при регистрации частиц малых энергий обычно несколько меньше 100%. Это связано с тем, что такие частицы с заметной вероятностью могут не создать ни одной электрон-ионной пары и в рабочем объеме счетчика Гейгера. Счетчики Гейгера – сравнительно медленные приборы, поэтому они были частично вытеснены *сцинтилляционными детекторами и пропорциональными счетчиками*. Однако простота конструкции и дешевизна обеспечили им применение в *дозиметрии*, а также в областях, где регистрируются редкие события, и надо перекрыть детекторами десятки и даже сотни квадратных метров. В последнем случае счетчики Гейгера работают, как правило, в ограниченном стримерном режиме при давлении газовой смеси, близком к атмосферному давлению. Если необходимо работать в условиях повышенных нагрузок ($\sim 10^3$ импульсов в 1 с), то в объем счетчика Гейгера вводятся изолирующие перегородки, которые ограничивают развитие разряда вдоль трубки. Счетчики Гейгера продолжают использоваться в науке. В эксперименте по исследованию свойств нейтрино применялось 19968 счетчиков Гейгера в виде алюминиевых трубок длиной 4 метра, изолированных друг от друга. Установка для поиска распада протона, которая размещается в туннеле под Монбланом, содержит 43000 счетчиков Гейгера.

5. Ход выполнения лабораторной работы

Практическая часть работы направлена на изучение основ регистрации радиоактивности с использованием газонаполненных детекторов ионизирующего излучения – счетчиков Гейгера-Мюллера. В качестве источника радиоактивного излучения служит комбинированный препарат радия, стронция и цезия.

1. Проверить состав и количество устройств, необходимых для проведения лабораторной работы:

- Счетное устройство (СУ),
- Источник в держателе (И),
- Детектор в держателе (Д).

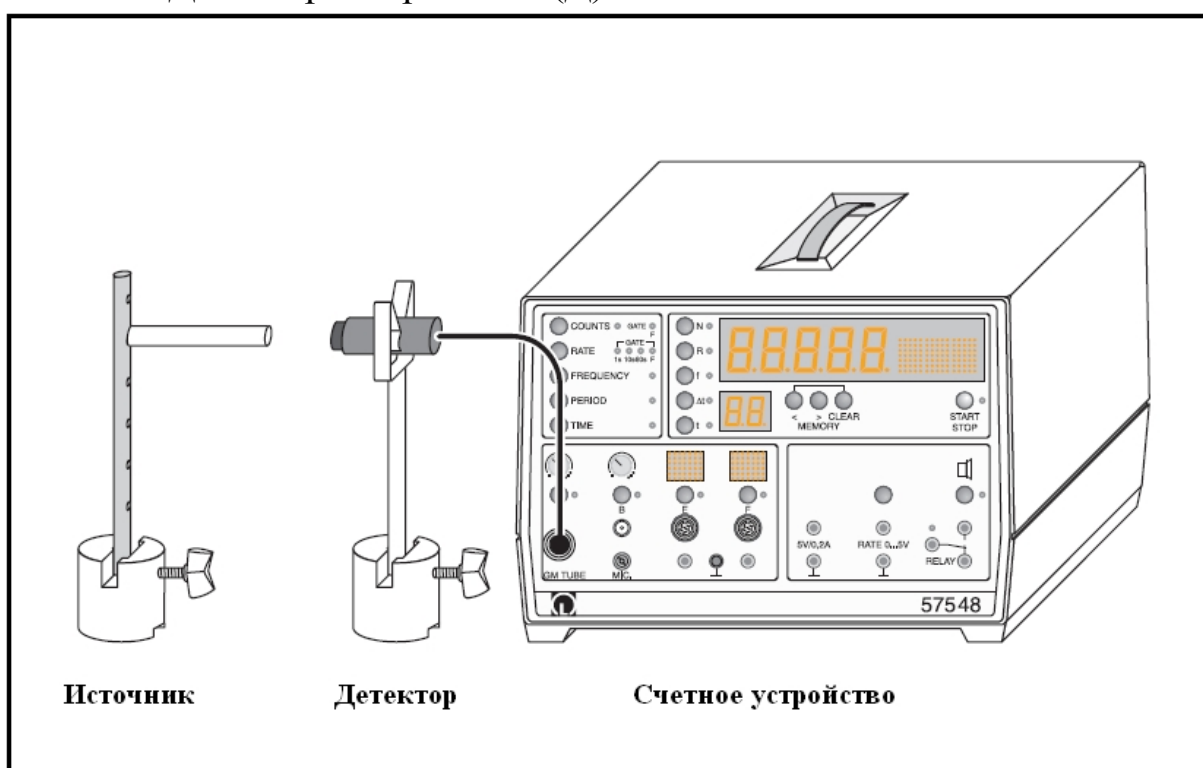


Рис. 5. Внешний вид Лабораторной работы с использованием счетчика Гейгера-Мюллера.

2. Внимание: До включения всех приборов изучите описанный ниже ход выполнения лабораторной работы до конца. В случае возникновения вопросов, обратитесь к лаборанту. **Внимание:** Указанные выше устройства запрещено перемещать!

3. Подключить СУ к сети:

- подключить СУ к сети;
- включить тумблер на задней панели СУ;

4. Установить временное окно на СУ:

- СУ → клавиша Rate → выбор режима [1 s];
 - СУ → клавиша R → выбор режима [/s];
- 5. Уменьшить напряжение на счетчике Гейгера-Мюллера до 0 V:**
- СУ → регулятор над клавишей A → поворот против часовой стрелки → значение напряжение будет указано на экране СУ;
- 6. Включить звуковую сигнализацию:**
- СУ → клавиша со значком Sound;
- 7. Переключить СУ в режим счета:**
- СУ → клавиша Start/Stop;
- 8. Проверить работу звуковой сигнализации:**
- СУ → регулятор над клавишей A → поворот по часовой стрелки (плавно) → значение напряжения будет указано на экране СУ. *Подсказка:* при некотором значении напряжения должны слышаться щелчки. *Внимание:* запрещено увеличивать напряжение более 600 V.
 - Уменьшить напряжение до 0 V (см. пункт 5).
- 9. Проведение экспериментальной работы:**
- СУ → клавиша Start/Stop;
 - СУ → клавиша Rate → выбор режима [10 s];
 - СУ → клавиша R → выбор режима [/s];
 - СУ → клавиша Start/Stop;
 - После нажатия клавиши Start/Stop ждать 10 секунд, далее на экране появится значение параметра, показывающего число импульсов, зарегистрированных за 10 секунд в пересчете на 1 секунду. Записать значения данного параметра и напряжения (*Подсказка:* в соответствии с пунктом 8, напряжение должно быть 0 V).
 - Увеличить напряжение до 100 V (регулятор над клавишей A), нажать дважды клавишу Start/Stop, ждать 10 секунд, на экране появится значение параметра, показывающего число импульсов, зарегистрированных за 10 секунд в пересчете на 1 секунду. Записать значения данного параметра и напряжения.
 - Повторить предыдущий пункт далее для значений напряжения от 200 до 600 V с шагом 100 V. *Внимание:* запрещено увеличивать напряжение более 600 V. Выполняя этот пункт (измерения при напряжениях от 200 до 600 V), зафиксировать значения напряжения, между которыми звуковая сигнализация начинает издавать щелчки (диапазон напряжений *AB* на рис. 4 пособия).

- Повторить эксперимент для значений напряжений в диапазоне напряжений AB , который был зафиксирован в предыдущем пункте, с шагом 4-10 V.
- Повторить эксперимент для значения напряжения 400 V не менее пяти раз. Записать все значения параметра, указанного на экране СУ, вычислить статистический разброс.

10. Окончание экспериментальной работы и выключение:

- СУ → регулятор над клавишей А → поворот против часовой стрелки;
- выключить тумблер на задней панели СУ, отключить СУ от сети.

11. Обработка результатов:

- Построить таблицу значений Напряжение/Число импульсов, а также график зависимости числа импульсов от выставленного напряжения с учетом предварительно вычисленной статистической ошибки;
- Изучить полученную зависимость и дать ей соответствующую интерпретацию.
- Оформить в письменном виде полученные результаты с указанием постановки задачи, кратким описанием выполнения работы, сделанными выводами.
- *Внимание:* в письменных отчетах необходимо указать все экспериментальные значения посредством таблиц и графиков, на графиках необходимо продемонстрировать всю счетную характеристику, включая диапазоны напряжений, где отсутствуют отсчеты. Кроме того, на графиках необходимо помимо экспериментальных значений указать статистические погрешности, помогающие оценить поведение счетной характеристики. Письменные отчеты, составленные на нескольких страницах, должны быть надежно скреплены скобами (не скрепками). Письменные отчеты должны также содержать информацию об исполнителе (ФИО, номер группы, дата выполнения и сдачи работы).

Внимание! Самостоятельное вскрытие или другие манипуляции с источником радиоактивного излучения запрещены и являются нарушением законодательства РФ в области радиационной безопасности. Доступ к радиоактивному источнику имеет только персонал лаборатории, относящийся к группе «А».

Вопросы для самоконтроля:

1. Какова роль счетчиков Гейгера в дозиметрии и обеспечении радиационного контроля?
2. Может ли счетчик Гейгера регистрировать НИИ и КИИ?
3. Перечислите известные вам счетчики и детекторы помимо счетчика Гейгера.
4. Что такое радиоактивность?
5. Какие виды радиоактивного излучения способен регистрировать счетчик Гейгера?
6. Какой принцип заложен в работу газонаполненных детекторов и какова их вольт-амперная характеристика?
7. Опишите, как функционирует счетчик Гейгера?
8. В чем заключается различие между самогасящимися и несамогасящимися детекторами?
9. В каких случаях используются самогасящиеся и несамогасящиеся детекторы?
10. Перечислите области применения счетчиков Гейгера.
11. Перечислите известные вам преимущества и недостатки счетчиков Гейгера по сравнению с другими детекторами.
12. Как изменится счетная характеристика счетчика Гейгера, если изменить (увеличить или уменьшить) расстояние между источником радиоактивного излучения и регистрирующим его счетчиком?
13. Как изменится счетная характеристика счетчика Гейгера, если изменить (увеличить или уменьшить) активность источника радиоактивного излучения?

Литература

1. Капитонов, И.М. Введение в физику ядра и частиц [Текст]: учебное пособие / И.М. Капитонов // Москва: УРСС, 2002. – 383 с.
2. Колпаков, П.Е. Основы ядерной физики [Текст]: учебное пособие для пед. инс-тов / П.Е. Колпаков // Москва: Просвещение, 2001. – 401 с.
3. Зарипова, Л.Д. Физические основы дозиметрии. Радиационная безопасность [Текст]: учебно-методическое пособие / Л.Д. Зарипова // Казань: Изд-во Казанс. Гос. Ун-та, 2008. – 42 с.
4. Фюнфер, Э. Счетчики излучений [Текст] / Э. Фюнфер, Г. Нейерт; пер. 2-го нем. Изд. А. Г. Берковского [и др.] // Москва: Госатомиздат, 1961. – 403 с.
5. Калашникова, В.И. Детекторы элементарных частиц [Текст]: учебное пособие / В.И. Калашникова, М.С. Козодаев // Москва: Наука, 1966. – 407 с.
6. Чистяков, В.А. Практикум по ядерной физике [Текст]: учебное пособие / В.А. Чистяков, Э.К. Садыков, Н.Г. Ивойлов, Е.Н. Дулов, М.М. Бикчантаев // Казань: Изд-во физ.фак-та Казанс. Гос. Ун-та, 2004. – 152 с.

ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА № 4

от 17 июня 2013

заседания Учебно-методической комиссии Института физики КФУ

ПРИСУТСТВОВАЛИ: проф. Таюрский Д.А. (председатель комиссии), доц. Шерстюков О.Н. (зам. председателя комиссии), Хуснутдинов Н.Р., Ильясов К.А., Воронина Е.В., Тюрин В.А., Корчагин П.А., Дуглав А.В., Мокшин А.В., Гарнаева Г.И., Шиманская Н.Н., Соколова М.Г.

СЛУШАЛИ: рекомендацию в печать учебно-методического пособия «Регистрация радиоактивности. Счетная характеристика счетчика Гейгера-Мюллера» (авторы: Гайнов Р.Р., Дулов Е.Н., Вагизов Ф.Г.)

ПОСТАНОВИЛИ: на основании положительной рецензии к.ф.-м.н., с.н.с. КИББ КНЦ РАН Манапова Р.А. рекомендовать вышеуказанное учебно-методическое пособие к опубликованию в электронном виде на сайте Института физики.

Председатель Учебно-методической комиссии
Института физики, профессор

Таюрский Д.А.