

Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть	4
2.1. Понятие о радиоактивности	4
2.2. Поглощение γ - излучения веществом.....	5
2.3. Принцип действия счетчика Гейгера-Мюллера	7
3. Экспериментальная часть.....	10
3.1. Приборы и принадлежности.....	10
3.2. Описание установки	10
3.3. Требования по технике безопасности.....	10
3.4. Порядок выполнения работы	11
4. Контрольные вопросы	13
Список литературы	13

Лабораторная работа № 81

Изучение характеристики счетчика Гейгера-Мюллера и поглощения радиоактивного излучения веществом

1. Цель работы

1.1. Снятие характеристики счетчика и определение его рабочего напряжения.

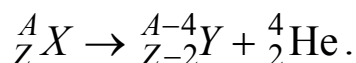
1.2. Определение коэффициента поглощения γ - излучения веществом.

2. Теоретическая часть

2.1. Понятие о радиоактивности

Естественная радиоактивность представляет собой процесс самопроизвольного превращения атомных ядер одних элементов в другие, сопровождающийся испусканием различных частиц и излучением. К числу основных превращений относятся α - распад, β - распад и самопроизвольное деление тяжелых ядер.

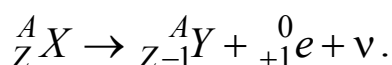
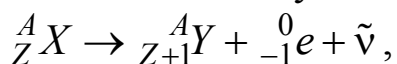
При α - распаде материнское ядро A_ZX превращается в дочернее ядро ${}^{A-4}_{Z-2}Y$ с испусканием ядер атомов ${}^4_2\text{He}$ по следующей схеме



Скорости, с которыми α - частицы (ядра атомов ${}^4_2\text{He}$) вылетают из распавшегося ядра, очень велики (10^7 м/с, кинетическая энергия порядка несколько МэВ). Пролетая через вещество, α - частица постепенно теряет свою энергию, затрачивая ее на ионизацию молекул вещества. В воздухе при нормальном давлении пробег составляет несколько сантиметров, в твердом веществе – всего несколько десятков микронов (α - частицы полностью задерживаются обычным листом бумаги).

Бета - распадом называется радиоактивное превращение ядер, при котором их массовое число не изменяется, и заряд увеличивается (β^- - распад) или уменьшается (β^+ - распад) на единицу. Существуют три разновидности β - распада. В случае β^- - распада (электронный распад) ядро, претерпевающее превращение, испускает электрон и антинейтрино ($\bar{\nu}$), в β^+ - распаде – позитрон (${}^0_{+1}e$) и нейтрино (ν), в

третьем случае, называемом электронным захватом, ядро поглощает один из электронов K -оболочки, значительно реже L - или M -оболочки. Схемы β^- и β^+ -распадов имеют следующий вид:



Гамма - излучение представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение (с квантовой точки зрения это поток фотонов), которое обычно сопровождает α - и β -распады ядер. γ -излучение возникает в процессе перехода ядер из одних энергетических состояний в другие. Атомное ядро, подобно атому, представляет собой квантово-механическую систему с дискретным набором энергетических уровней. Находясь в основном состоянии, ядро не проявляет радиоактивности, подобно тому, как невозбужденный атом не испускает оптические фотоны. В процессе радиоактивного распада дочернее ядро находится в возбужденном состоянии. Наиболее вероятным процессом, снимающим возбуждение ядра, является испускание γ -лучей. Энергия испущенного γ -кванта равна разности энергий данного возбужденного и более низкого энергетического состояния, что аналогично процессу испускания оптического фотона возбужденным атомом. Различие состоит в том, что разность энергетических уровней в атоме составляет примерно 1 эВ, а в ядре – десятки и сотни тысяч электрон-вольт.

2.2. Поглощение γ -излучения веществом

При прохождении радиоактивного излучения через вещество происходит ослабление интенсивности пучка в результате его взаимодействия с атомами вещества. Очевидно, степень взаимодействия определяется, с одной стороны, свойствами вещества – его плотностью, размером атомов и т.д., а с другой стороны – свойствами самого излучения.

Из различных видов радиоактивного излучения наиболее сильно должны взаимодействовать с веществом массивные и обладающие зарядом α -частицы, их проникающая способность минимальна.

γ -лучи, представляющие собой поток незаряженных и не обладающих массой покоя фотонов, испытывают наименьшее

взаимодействие с веществом и соответственно обладают наибольшей проникающей способностью.

Ослабление γ - лучей при распространении в веществе обусловлено в основном тремя процессами взаимодействия: фотоэффектом, комптоновским рассеянием и образованием электрон-позитронных пар в поле ядра.

При фотоэффекте энергия γ - кванта целиком поглощается атомом, причем один из электронов атома становится свободным и получает некоторую кинетическую энергию. Вероятность этого процесса велика только при сравнимых значениях энергии кванта и энергии связи электрона в атоме. Энергия же γ - квантов в сравнении с фотонами оптического диапазона очень велика. Поэтому в фотоэффекте могут принимать участие, с одной стороны, только электроны самых глубоких внутренних оболочек атома, а с другой – γ - кванты самой малой энергии. При увеличении энергии γ - лучей вероятность фотоэффекта быстро падает.

В процессе поглощения γ - квантов с образованием электрон-позитронной пары $e^+ + e^-$ энергия кванта расходуется на создание этих двух частиц и на сообщение им кинетической энергии. Минимально необходимая для этого энергия составляет $2m_0c^2$, т.е. несколько более 1 МэВ, так что этот процесс существует лишь для γ - лучей очень большой энергии.

В широком диапазоне средних энергий γ - квантов основную роль в ослаблении интенсивности γ - лучей играет эффект Комптона: рассеяние γ - квантов на свободных или слабо связанных с атомами электронах. В результате этого процесса вместо первичного γ - кванта появляется летящий в другом направлении рассеянный γ - квант, причем часть энергии получает электрон отдачи. После ряда столкновений квант теряет большую часть своей энергии и, в конце концов, поглощается.

Взаимодействие γ - квантов с частицами вещества носит статистический характер: число актов взаимодействия пропорционально наличному числу квантов (интенсивность излучения) и числу частиц, способных взаимодействовать. Поэтому изменение (убыль) интенсивности излучения dI в малом слое толщины dx пропорционально dx и интенсивности падающего излучения I

$$dI = -\mu I dx. \quad (2.1)$$

Коэффициент пропорциональности μ называется коэффициентом ослабления или поглощения. Интегрируя уравнение (2.1) с учетом начальных условий ($I = I_0$ при $x = 0$), получим

$$I = I_0 e^{-\mu x}. \quad (2.2)$$

Коэффициент μ имеет смысл обратной толщины поглощенного слоя, на которой излучение ослабляется в e ($=2,718$) раз. В случае преобладания комптоновского рассеяния удобно пользоваться так называемым массовым коэффициентом ослабления $\mu' = \mu / \rho$ (ρ – плотность вещества). Поскольку комптоновский эффект обусловлен столкновением квантов с внешними электронами атомов, ослабление пучка зависит прежде всего от концентрации электронов. Но концентрация электронов в веществе приблизительно пропорциональна его плотности, и поэтому в рассматриваемом случае коэффициент μ' не должен зависеть от рода вещества. Получение такого результата в эксперименте свидетельствует о преобладающей роли комптоновского рассеяния.

Интенсивность излучения I пропорциональна скорости счета импульсов N (числу импульсов за единицу времени), поэтому формулу (2.2) можно переписать в виде

$$N = N_0 e^{-\mu x}, \quad (2.3)$$

где N_0 – число частиц, зарегистрированных счетчиком, когда нет поглощающего вещества, N – число частиц, прошедших слой вещества толщиной X .

Экспоненциальную зависимость (2.3) удобно изобразить в виде прямой линии, отложив по оси абсцисс толщину поглотителя, а по оси ординат $\ln(N_0 / N)$. По этому графику легко определить коэффициент поглощения μ .

2.3. Принцип действия счетчика Гейгера-Мюллера

Заряженные частицы вызывают ионизацию молекул на своем пути. Это явление положено в основу работы многих регистрирующих приборов, в том числе и счетчика Гейгера-Мюллера.

Счетчик состоит из металлической трубки (или металлизированной изнутри стеклянной трубки) и тонкой металлической нити, натянутой в середине трубки. Нить служит анодом, трубка – катодом (рис. 2.1).

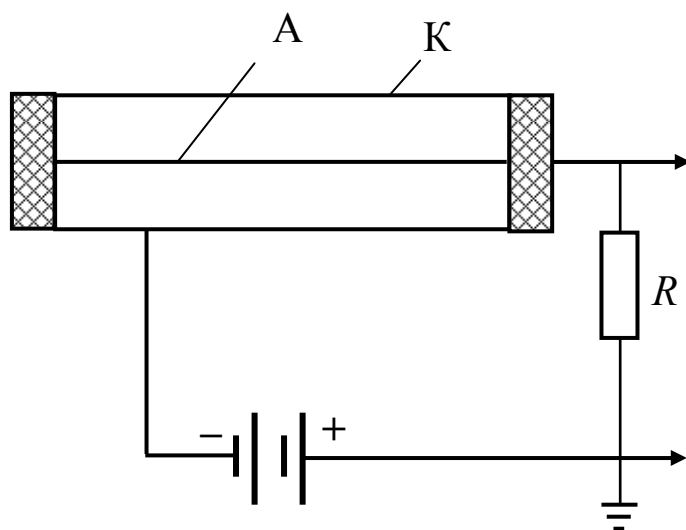


Рис. 2.1

В электрическом поле ионы, образованные в газе быстрой заряженной частицей, движутся к электродам. В результате движения ионы теряют свою кинетическую энергию при столкновениях с молекулами газа, а в промежутках между столкновениями разгоняются электрическим полем. Если за это время между столкновениями ионы приобретут энергию, превосходящую энергию ионизации молекулы газа, то при столкновении с нейтральной молекулой становится возможной ударная ионизация. В результате число образованных ионов будет увеличиваться.

Для того чтобы не происходила потеря электронов при движении в счетчике, их наполняют инертными газами (аргон, неон, гелий).

Важным моментом работы газоразрядного счетчика является гашение разряда. Если после того как лавина электронов достигла анода в рабочем пространстве счетчика появятся новые электроны, то вслед за первой лавиной может возникнуть вторая. В нормально работающем счетчике разряд должен обрываться на первой лавине. Для этого в цепь счетчика включается сопротивление порядка 10^9 Ом, на котором происходит падение напряжения, вследствие чего потенциал анода уменьшается и счетчик гаснет.

Конструкция счетчика и режим его работы определяются конкретным назначением счетчика и условиями эксперимента.

При регистрации короткопробежных частиц (α - частиц, протонов) необходимо использовать счетчики с тонким окном, через которое в рабочий объем счетчика могут проникать α - частицы.

При измерениях γ - лучей используют счетчики с металлическим или металлизированным катодом. В этом случае ионизация в газовом объеме производится электронами, выбиваемыми γ - квантами из стенок счетчика. Сами γ - лучи газ практически не ионизируют.

Качество газоразрядного счетчика определяется видом зависимости между скоростью счетчика (в импульсах в минуту) и напряжением, приложенным к счетчику. Эта зависимость называется счетной характеристикой (рис. 2.2).

При увеличении напряжения с некоторого значения u_1 обнаруживаются импульсы (порог счета). При дальнейшем увеличении (участок AB) скорость счета растет пропорционально с напряжением. В этом режиме счетчик регистрирует не все частицы, попавшие в него, поскольку не все электроны имеют достаточную кинетическую энергию, чтобы производить ионизацию.

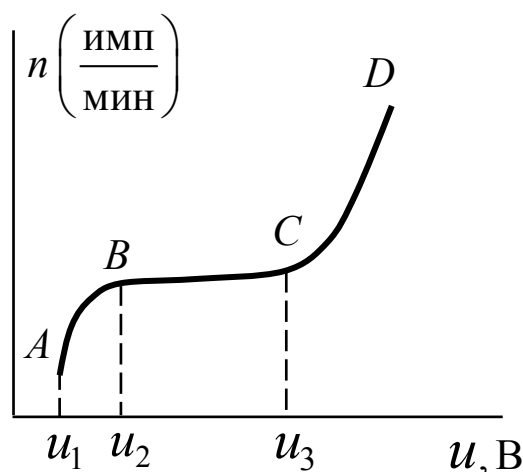


Рис. 2.2

Прямолинейный участок BC называется плато характеристики. Для обеспечения стабильной работы счетчика рабочее напряжение необходимо выбирать соответствующим средней точке плато.

При напряжении u_3 и выше начинается самостоятельный разряд, т.е. образование незатухающей лавины электронов и ионов. При наличии большого числа частиц не все влетевшие частицы будут

зарегистрированы счетчиком. Это происходит потому, что не каждая частица производит ионизацию, и влетевшие одновременно две или несколько частиц дадут импульс тока, что будет восприниматься пересчетным механизмом как одна частица. Кроме того, счетчик обладает определенной инерционностью. Разрешающей способностью счетчика называется величина $\frac{1}{\tau}$, где τ – промежуток

времени, в течение которого счетчик не регистрирует попадающие в него частицы – «мертвое время». Разрешающая способность позволяет определить максимальное число частиц, которое может зарегистрировать счетчик за 1 с.

Любой счетчик даже при отсутствии источников радиации регистрирует некоторое число импульсов, создающих «фон» счетчика. Причины «фона» – космические лучи, радиоактивность окружающих предметов.

3. Экспериментальная часть

3.1. Приборы и принадлежности

- 1) высоковольтный блок питания с установленным внутри счетчиком Гейгера-Мюллера и контейнером с радиоактивным препаратом;
- 2) программный реверсивный счетчик Ф5007;
- 3) набор алюминиевых и стальных пластин.

3.2. Описание установки

Конструктивно высоковольтный блок питания смонтирован совместно с установленным внутри счетчиком Гейгера-Мюллера и контейнером с радиоактивным препаратом, прикрепленным к лицевой панели. Блок питания соединен со счетчиком Ф5007 для регистрации импульсов. Свинцовый контейнер с радиоактивным препаратом гарантирует радиационную безопасность на любом расстоянии от установки.

3.3. Требования по технике безопасности

При выполнении работы необходимо:

1. Внимательно ознакомиться с заданием и оборудованием.
2. Проверить заземление лабораторной установки и изоляцию токоведущих проводов, о замеченных неисправностях немедленно сообщить преподавателю.
3. По окончании работы выключить установку, отсоединив токоведущие провода от электрощита.

3.4. Порядок выполнения работы

3.4.1. Снятие счетной характеристики

1. Включить блок питания, кнопку «СЕТЬ» прибора Ф5007.
2. Ручки регулировки напряжения «ГРУБАЯ» и «ТОЧНАЯ» в блоке питания привести в крайнее левое положение.
3. Шнур от счетчика Гейгера-Мюллера подключить к каналу «А» прибора Ф5007; нажать кнопки «СУММИР», «СЧЕТЧ»; тумблер изменения полярности импульсов – в любом положении.
4. Отжать другие клавиши прибора Ф5007.
5. Нажать кнопку «СТОП», чтобы привести все декартоны к нулевым показаниям, а затем кнопку «СТАРТ».
6. Постепенно увеличить напряжение на блоке питания и определить напряжение, при котором начинается счет на декартонах – «пороговое» значение напряжения.
7. Нажать кнопку «СБРОС» для приведения приборов в рабочее состояние.
8. Включить кнопку «СТАРТ» и в течение 2-х минут при «пороговом» напряжении снимать число отсчетов. Нажать «СТОП» и записать показания декартонов.
9. Изменять постепенно напряжение с интервалом 10 В. После каждого измерения показания декартонов следует приводить к нулю («СБРОС»). Данные занести в табл. 3.1.
10. По экспериментальным данным построить график зависимости числа импульсов N от напряжения U .
11. Из графика определить рабочий участок (плато) характеристики, найти среднее значение плато – рабочее напряжение (рис. 2.2).
12. Установить на вольтметре рабочее напряжение.

Таблица 3.1

N	U , В	N , имп	$U_{\text{раб}}$, В

3.4.2. Определение «фона»

Перед окном счетчика Гейгера-Мюллера установить стальную пластинку с наибольшей толщиной (или набор пластин) для подавления радиоактивного излучения. Определить число импульсов ($N_{\text{ф}}$) за 2 мин. Опыт повторить 3 раза и найти среднее значение.

3.4.3. Определение коэффициента поглощения γ - излучения в веществе

1. Определить число импульсов N_0 , когда на пути радиоактивного излучения нет поглощающего вещества.

2. Поместить перед окном счетчика одну алюминиевую пластинку и взяв отсчет импульсов за 2 мин, найти N_1 .

3. Сделать то же, поместив перед окном счетчика две и затем три пластинки, найти N_2 и N_3 . Данные занести в табл. 3.2.

4. Вычисляют истинное значение числа частиц N_0 , N_1 , N_2 , N_3 по формуле $N_{\text{ист}i} = N_i - N_{\text{ф}}$, ($i = 0, 1, 2, 3$).

5. Построить график зависимости значений $\ln \frac{N_0}{N}$ (ось ординат) от толщины вещества X (ось абсцисс) в виде линейной зависимости. Из графика определить значение коэффициента μ как тангенс угла наклона этой прямой к оси абсцисс

$$\mu = \frac{\ln \frac{N_0}{N}}{X}.$$

6. Рассчитать массовый коэффициент ослабления $\mu' = \frac{\mu}{\rho}$ (где

ρ – плотность вещества, для алюминия $\rho = 2600 \text{ кг / м}^3$).

7. Пользуясь набором стальных пластин и повторяя пункты 1-6, определить коэффициент поглощения γ - лучей для стали (плотность стали $\rho = 7700 \text{ кг / м}^3$).

8. Отключить установку и вынуть сетевые шнуры из розетки.

9. Написать вывод, в котором указать:

а) значение коэффициентов поглощения γ - излучения в исследованных веществах;

б) роль комптоновского рассеяния в процессе поглощения γ - излучения веществом.

Таблица 3.2

№	$X, \text{ м}$	$N_{\text{ф}}, \frac{\text{имп}}{\text{мин}}$	$N_i, \frac{\text{имп}}{\text{мин}}$	$N_{\text{ист}i}$	$N_0, \frac{\text{имп}}{\text{мин}}$	μ	μ'
1							
2							
3							

4. Контрольные вопросы

1. Что понимается под радиоактивностью?
2. Приведите схемы α - и β - распадов.
3. Что такое γ - излучение?
4. Какими процессами обусловлено ослабление γ - лучей?
5. Какой формулой описывается поглощение радиоактивного излучения в веществе?
6. Как устроен счетчик Гейгера-Мюллера?
7. Объяснить вид счетной характеристики.
8. Как определить экспериментально коэффициент поглощения γ - излучения в веществе?

Список литературы

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Academia, 2006.
2. Детлаф А.А., Яворский В.М. Курс физики. – М.: Academia, 2005.