

**Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Уфимский государственный авиационный технический университет**

**ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА  
И ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
ВЕЩЕСТВОМ**

**Методические указания**

**к лабораторной работе № 81  
по дисциплине «Физика»**

**Уфа 2008**

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА  
И ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
ВЕЩЕСТВОМ

Методические указания

к лабораторной работе № 81  
по дисциплине «Физика»

Уфа 2008

Составитель Г.П. Михайлов

УДК  
ББК

Изучение характеристики счетчика Гейгера-Мюллера и поглощения радиоактивного излучения веществом: Методические указания к лабораторной работе № 81 по дисциплине «Физика» /Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Г.П. Михайлов. – Уфа, 2008. – 13 с.

Методические указания знакомят студентов с устройством и принципом действия газоразрядного счетчика Гейгера-Мюллера и поглощением радиоактивного излучения веществом. В теории к лабораторной работе дано понятие о радиоактивности,  $\alpha$  -,  $\beta$  - распадах,  $\gamma$  - излучении и поглощении радиоактивного излучения веществом. Студенты экспериментально изучают счетную характеристику счетчика и определяют коэффициент поглощения  $\gamma$  - излучения алюминием и сталью.

Методические указания предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика».

Табл. 2. Ил. 2. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: Тучков С.В.,  
Иванов М.П.

©Уфимский государственный авиационный  
технический университет, 2008

Составитель МИХАЙЛОВ Геннадий Петрович

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СЧЕТЧИКА ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА  
И ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
ВЕЩЕСТВОМ

Методические указания

к лабораторной работе № 81  
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2008. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Nimes New Roman Суг.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отт. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 300 экз. Заказ №

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет

Центр оперативной полиграфии УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| 1. Цель работы.....                                  | 4  |
| 2. Теоретическая часть .....                         | 4  |
| 2.1. Понятие о радиоактивности .....                 | 4  |
| 2.2. Поглощение $\gamma$ - 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.

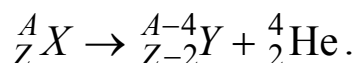
1.2. Определение коэффициента поглощения  $\gamma$  - излучения веществом.

### 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  $\alpha$  - распад,  $\beta$  - распад и самопроизвольное деление тяжелых ядер.

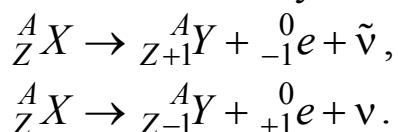
При  $\alpha$  - распаде материнское ядро  ${}^A_Z X$  превращается в дочернее ядро  ${}^{A-4}_{Z-2} Y$  с испусканием ядер атомов  ${}^4_2 \text{He}$  по следующей схеме



Скорости, с которыми  $\alpha$  - 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,  $\alpha$  - 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 ( $\alpha$  - частицы полностью задерживаются обычным листом бумаги).

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

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



Гамма-излучение представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение (с квантовой точки зрения это поток фотонов), которое обычно сопровождает  $\alpha$ - и  $\beta$ -распады ядер.  $\gamma$ -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  $\gamma$ -лучей. Энергия испущенного  $\gamma$ -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 $\gamma$ -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  $\alpha$ -частицы, их проникающая способность минимальна.

$\gamma$ -лучи, представляющие собой поток незаряженных и не обладающих массой покоя фотонов, испытывают наименьшее

взаимодействие с веществом и соответственно обладают наибольшей проникающей способностью.

Ослабление  $\gamma$  - 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  $\gamma$  - 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  $\gamma$  - 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 –  $\gamma$  - кванты самой малой энергии. При увеличении энергии  $\gamma$  - лучей вероятность фотоэффекта быстро падает.

В процессе поглощения  $\gamma$  - 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  $\gamma$  - лучей очень большой энергии.

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

Взаимодействие  $\gamma$  - 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  $\mu$  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  $\mu$  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  $\mu' = \mu / \rho$  ( $\rho$  – 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  $\mu'$  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  $\mu$ .

### 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).

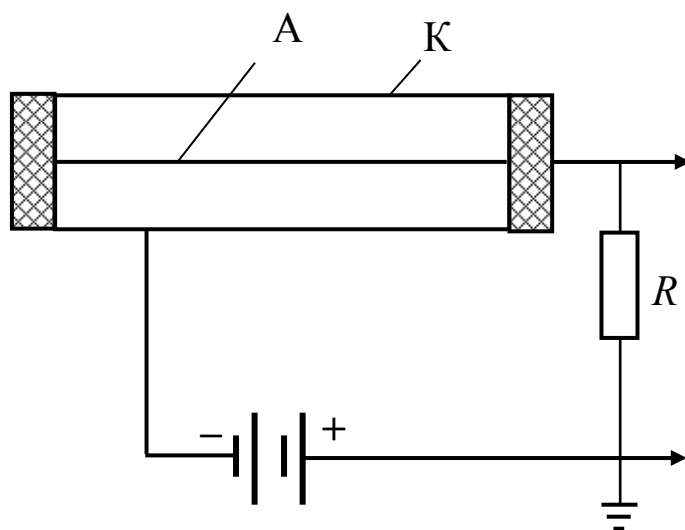


Рис. 2.1

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 ( $\alpha$ -частиц, протонов) необходимо использовать счетчики с тонким окном, через которое в рабочий объем счетчика могут проникать  $\alpha$ -частицы.

При измерениях  $\gamma$ -лучей используют счетчики с металлическим или металлизированным катодом. В этом случае ионизация в газовом объеме производится электронами, выбиваемыми  $\gamma$ -квантами из стенок счетчика. Сами  $\gamma$ -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.

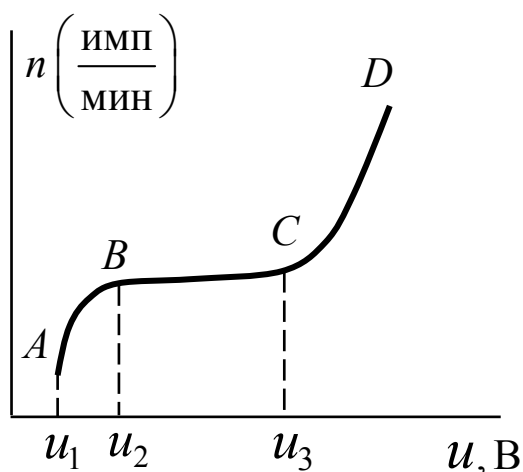


Рис. 2.2

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  $\tau$  – 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 декатроны к нулевым показаниям, а затем кнопку «СТАРТ».
6. Постепенно увеличить напряжение на блоке питания и определить напряжение, при котором начинается счет на декатронах – «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 декатронов.
9. Изменять постепенно напряжение с интервалом 10 В. После каждого измерения показания декатронов 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

| $N$ | $U, В$ | $N, \text{имп}$ | $U_{\text{раб}}, В$ |
|-----|--------|-----------------|---------------------|
|     |        |                 |                     |

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

7. Пользуясь набором стальных пластин и повторяя пункты 1-6, определить коэффициент поглощения  $\gamma$  - 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  $\gamma$  - излучения в исследованных веществах;

б) роль комптоновского рассеяния в процессе поглощения  $\gamma$  - излучения веществом.

Таблица 3.2

| № | $X, \text{ м}$ | $N_{\phi}, \frac{\text{ИМП}}{\text{МИН}}$ | $N_i, \frac{\text{ИМП}}{\text{МИН}}$ | $N_{\text{ист}i}$ | $N_0, \frac{\text{ИМП}}{\text{МИН}}$ | $\mu$ | $\mu'$ |
|---|----------------|---|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------|--------|
| 1 |                |   |                                      |                   |                                      |       |        |
| 2 |                |   |                                      |                   |                                      |       |        |
| 3 |                |   |                                      |                   |                                      |       |        |

#### 4. Контрольные вопросы

1. Что понимается под радиоактивностью?
2. Приведите схемы  $\alpha$  - и  $\beta$  - распадов.
3. Что такое  $\gamma$  - излучение?
4. Какими процессами обусловлено ослабление  $\gamma$  - 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  $\gamma$  - 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.