



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Брянский государственный технический университет

Кафедра «Общей физики»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № _____

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О)

Отметка о допуске: _____

Отметка о защите: _____

Брянск 20 ____

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №51 ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ β - И γ -ЛУЧЕЙ В АЛЮМИНИИ И СВИНЦЕ

Цель работы: ознакомиться с устройством и работой счётчика радиоактивных частиц Гейгера-Мюллера и методом определения линейного коэффициента поглощения радиоактивного β, γ - излучения.

Теоретическое введение

Как показывает опыт, излучение радиоактивных веществ состоит из трех компонентов: α - лучи - поток ядер гелия; β - лучи - поток быстрых электронов; γ - лучи - поток квантов электромагнитного поля [1].

α -частица образуется в радиоактивном ядре из двух протонов и двух нейтронов и благодаря кулоновскому отталкиванию выходит из ядра за счет квантов механического туннельного эффекта [1] обусловленного наличием у микрочастиц волновых свойств.

β - лучи возникают при взаимном превращении нуклонов в радиоактивном ядре, а также при внутренней конверсии, когда возбужденное ядро, испустив α - частицу передаёт избыточную энергию одному из электронов К, L или M слоев, в результате чего электрон вылетает из атома [1].

γ - излучение, как правило, не является самостоятельным типом радиоактивности, а сопровождает α - и β - распады. Образовавшееся после α - и β - распада ядро находится в возбужденном состоянии и при переходе в состояние с меньшей энергией ядро испускает γ - квант с энергией $h\nu_\lambda = \Delta E_\lambda$, где ΔE_λ - разность энергетических состояний ядра. И случае внутренней конверсии возникает характеристическое рентгеновское излучение с линейчатым спектром [1] с энергией квантов до 20 МэВ.

При падении α -, β -, γ - лучей на вещество происходит их проникновение внутрь вещества и энергия радиоактивного излучения при этом уменьшается.

Наименьшей проникающей способностью обладают α -лучи благодаря большой массе (\sim в $7,3 \cdot 10^3$ раз больше массы электрона) и заряду (в 2 раза больше заряда электрона), поэтому энергия расходуется в основном на ионизацию атомов вещества. Ионизирующая способность α - лучей наибольшая в конце пробега. Лист бумаги полностью задерживает α - частицы.

Проникающая способность β - лучей значительно выше α - частиц благодаря их высокой скорости движения ($\sim 0,99c$) малой

величины массы и заряда. Потери энергии β - частиц обусловлены ионизацией вещества и тормозным радиационным излучением.

Энергия γ - лучей теряется в веществе вследствие следующих физических процессов: эффекта Комптона, фотоэффекта, образования электронно-позитронных пар [3].

Изменение интенсивности γ - лучей в веществе происходит до следующего закону:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}, \quad (1)$$

где I_0 - интенсивность γ - излучения до попадания в поглощающее вещество, x - толщина поглощающего слоя, μ - линейный коэффициент поглощения γ - лучей, I - интенсивность излучения после прохождения слоя поглотителя толщиной x .

В настоящей работе измеряется не интенсивность излучения, а пропорциональное этой величине число импульсов N , зарегистрированных установкой за определенный промежуток времени. С учетом сказанного коэффициент μ может быть определен по формуле:

$$\mu = \frac{\ln(N_0 / N_i)}{x}, \quad (2)$$

Определив величины N_0 и N_i (число импульсов, обусловленных падающим на поглощающее вещество излучением и число импульсов, обусловленное прошедшим излучением соответственно) с помощью установки Б-2, состоящей из счетчика Гейгера-Мюллера и пересчетной схемы, определяют минимальную толщину слоя алюминия, полностью поглощающего β - лучи, а также линейный коэффициент поглощения γ - лучей для алюминия и свинца.

Описание установки

Счетчик Гейгера-Мюллера представляет собой цилиндрическую стеклянную трубку, заполненную газом, на стенках которой химическим путем осаждена пленка меди или серебра. Эта пленка является катодом. Анодом служит металлическая нить, натянутая по оси цилиндра (рис. на установке). Чаще всего её делают из вольфрама. К электродам счетчика приложена разность потенциалов.

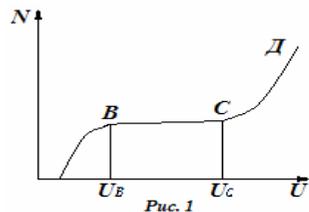
При попадании радиоактивной частицы в чувствительный рабочий объем счетчика ионизируются молекулы газа. Число образовавшихся ионных пар зависит от типа частицы и её энергии.

Если разность потенциалов, приложенная к электродам счетчика невелика, электроны и ионы, образовавшиеся при ионизации, приобретут на пути свободного пробега под влиянием поля небольшую

кинетическую энергию, недостаточную для ионизации атомов в трубке, и образовавшийся импульс тока будет мал, так как будет обусловлен только этими ионными парами (электрон присоединяется к нейтральному атому и появляется отрицательный ион). По мере увеличения напряжения U , сначала вблизи нити, где напряженность поля особенно велика, а затем и вдали от неё электроны приобретают на длине свободного пробега кинетическую энергию, достаточную для ионизации молекул газа. Возникшие при этом новые электроны вместе с исходными устремляются к нити и, таким образом, величина импульса тока (его амплитуда) растет. При некоторой, вполне определенной разности потенциалов между нитью и катодом, при появлении в счетчике хотя бы одной пары ионов происходит вспышка самостоятельного газового разряда (происходит лавинное образование ионов). В этих условиях величина исходного импульса не зависит от числа первичных ионов, созданных радиоактивной частицей.

Область напряжений, вызывающих газовый разряд, называется областью Гейгера-Мюллера, а счетчик работающий в этом режиме - счетчиком Гейгера-Мюллера [2].

Качество применяемых счетных трубок определяется видом зависимости между скоростью счета N (импульс в минуту) и напряжением, приложенным к счетчику. Эта зависимость называется счетной характеристикой. Она изображена на рис. 1.



При значениях разности потенциалов $U < U_B$ лежащих ниже области Гейгера-Мюллера, импульсы имеют различную амплитуду. Регистрирующая радиосхема обладает порогом чувствительности и регистрирует только импульсы больше пороговых. С ростом же напряжения растет доля импульсов, амплитуда которых достаточна для регистрации. Импульс создан частицей. При некотором напряжении между анодом и катодом почти все ионизирующие частицы регистрируются. Соответствующий участок счетной характеристики изображен отрезком BC.

В области Гейгера-Мюллера при ($U_B < U < U_C$) число зарегистрированных импульсов пропорционально числу частиц, попавших в чувствительный объем счетчика. На практике, однако, с ростом напряжения наблюдается слабое увеличение числа зарегистрированных импульсов. Это объясняется тем, что с ростом напряжения растет число самопроизвольных, ложных разрядов.

Возникновение ложных разрядов связано с появлением в объеме счетчика свободных электронов, которые, двигаясь под действием электрического поля к нити счетчика, вызывают

самостоятельный разряд. Причины появления этих электронов разнообразны. Одной из этих причин является эмиссия фотоэлектронов из катода под влиянием излучения, сопровождающего разряд. Чем выше напряжение, тем больше энергии электронов, тем больше разрядов они возбуждают.

Область напряжений $U_B - U_C$ называется "плато" счетчика, В области напряжений, превышающих U_C , ионные разряды возникают все чаще и чаще, при некотором значении разряд становится непрерывным (участок СД кривой) и счетчик перестает считать.

Счетчик, применяемый в настоящей работе, имеет плато от 700 до 1200 вольт. Поэтому все измерения следует проводить при рабочем напряжении на счетчике ~ 800 В.

Каждый счетчик имеет фон - при отсутствии излучения в нем все же вспыхивают разряды. Они вызваны космическими лучами, радиоактивными примесями в материалах, из которых изготовлен счетчик, самопроизвольными разрядами.

Счетчик Гейгера-Мюллера считает γ - частицы по косвенному эффекту: сами γ - частицы им не считаются но, взаимодействуя со стенками счетчика, или с молекулами газа, γ - фотон, вследствие фотоэффекта, создает быстрый электрон, который и регистрируется счетчиком, фиксируя таким образом γ - частицу.

Техника безопасности

1. В установке применяется электрическое напряжение свыше 1000 вольт, поэтому категорически запрещается производить какие-либо изменения в электрической схеме установки.
2. Перед началом работы проверьте наличие заземления корпуса пересчетного устройства и счетчика частиц.
3. Радиоактивный препарат переносится из свинцового контейнера в счетчик с помощью специальной вилки.
4. Категорически запрещается производить разборку ампулы с радиоактивным препаратом.
5. Получите контейнер с ампулой у преподавателя или лаборанта и распишитесь в получении.

Порядок выполнения работы

Приборы и принадлежности: установка типа Б-2 набор алюминиевых и свинцовых поглотителей (выдается по студенческому билету)

Подготовка прибора к работе

1. Включить вилку шнура электропитания стола в клеммы электрощита напряжения ~ 220 В.

2. Нажать белую кнопку на щитке (подать напряжение на щит) включить пакетный выключатель.

3. Включить тумблер "Сеть" установки Б-2 (загорается индикатор секундомера и сигнальная лоточка прибора) прогреть её в течение 5 минут.

4. Проверить положение тумблера кратности пересчета - должно быть $K=16$, т.е. установка отсчитывает каждый 16-й импульс.

5. Установить по киловольтметру 800 вольт, вращая ручку потенциометра "Регулятор напряжения". Делать это нужно медленно, так как напряжение на счетчике растет медленнее, чем на приборе.

6. Включить тумблер механического счетчика.

Определение фона счетчика

1. Установить нули секундомера и механического счетчика, для чего нажать последовательно кнопки "Сброс" секундомера (в окошке индикатора нули) и прибора (индикаторные лампочки, не горят) и рукоятками нуля механического счетчика установить нулевые значения. При невыполнении требований действия повторить.

2. Не устанавливая радиоактивный препарат в камеру счётчика, включить тумблер "Пуск" установки и определить число импульсов, зарегистрированных счетчиком за 2 минуты. Для этого показания механического счетчика n умножить на кратность пересчета ($K=16$) и к результату прибавить сумму чисел ($\sum n_i$) горящих неоновых лампочек, высвеченных к концу двухминутного интервала. Полученное число импульсов N_ϕ и даст значение фона счётчика.

$$N_\phi = n \cdot K + \sum n_i$$

3. Опыт повторить три раза, записав данные в таб. 1, и определить среднее значение фона счетчика $N_{\phi \text{ ср}}$.

Определение минимальной толщины слоя алюминия поглощающего β - лучи и вычисление линейного коэффициента поглощения γ - лучей для алюминия и свинца

1. При помощи захвата - вынуть радиоактивный препарат из футляра и установить под крышку в камеру счетчика. Крышку закрыть.

2. Установить нули приборов установки нажатием кнопок "Сброс" и последующим вращением рукояток механического счетчика.

3. Включить тумблер "Пуск" и регистрировать в течение 2-х минут импульсы, обусловленные фоном и препаратом. Произвести расчет N_0 по формуле.

$$N_0 = n_0 \cdot K + \sum n_i, \quad (4)$$

4. Рассчитать число импульсов, обусловленное радиоактивным препаратом, вычитая значения фона:

$$N_0 = N_0' - N_\phi, \quad (5)$$

8. Устанавливая в окошко камеры счётчика алюминиевые поглотители (отдельные пластины или их комбинации), определить число импульсов $N_1; N_2; N_3; \dots; N_i$ для каждой толщины поглотителя $X_1; X_2; X_3; \dots; X_i$ за каждые 2 минуты. Измерения на данной толщине X_i проводить 3 раза и определить среднее значение, каждый раз вычитая значение фона N_ϕ . Измерения проводить через интервал толщины $\Delta X = 0,5$ мм до общей толщины поглотителя не менее 4,5 мм.

6. Рассчитать значение логарифма $\ln(N_0/N_i)$ для каждого поглотителя X_i и данные занести в табл. 1.

7. Построить график зависимости $\ln(N_0/N_i)$ от толщины поглотителя X_i , что должно соответствовать по закону линейной зависимости при $\mu = \text{const}$

$$\ln \frac{N_0}{N_i} = \mu \cdot X_i, \quad (6)$$

и по графику определить минимальную толщину слоя алюминия, поглощающего полностью β - лучи.

8. Определить тангенс угла α наклона части кривой графика, расположенного правее области β - поглощения, построив прямоугольный треугольник с катетами $\Delta \ln(N_0/N_i)$ и ΔX , по определению:

$$\text{tg} \alpha = \frac{\Delta \ln(N_0 / N_i)}{\Delta X},$$

Тогда соотношение (6) может быть записано в виде $\text{tg} \alpha = \mu_\gamma$, откуда

$$\mu_\gamma = \text{tg} \alpha, \quad (7)$$

9. Убрать алюминиевые поглотители, а в окошко камеры счётчика установить свинцовый поглотитель толщины, полностью задерживающей β - лучи (две свинцовые пластинки) и определить, используя предыдущую методику, число импульсов N_1 , обусловленных γ - лучами. Толщина этих поглотителей в расчетах не участвует.

10. Установить остальные свинцовые поглотители общей толщины X_1 и определять число импульсов N_2 , излучения.

11. На основании закона (1) рассчитать линейный коэффициент поглощения γ - лучен для свинца:

$$\mu_{\gamma} = \frac{\ln N_1 - \ln N_2}{X_1}$$

12. По окончании работы уменьшить напряжение до нуля и выключить установку.

13. Установить радиоактивный препарат в контейнер.

Таблица 1

№ п/п	Толщина поглотителя, X, мм	Коэф. пере-счёта К	Сумма цифр ионного индикатора			Показания механического счётчика			Рассчитанное число импульсов N			$\ln \frac{N_0}{N_i}$	Коэф. поглощения μ	
			Σn_1	Σn_2	Σn_3	n_1	n_2	n_3	N_1	N_2	N_3			
Алюминиевый поглотитель														
1														
2														
3														
Свинцовый поглотитель														
1														
2														

Контрольные вопросы

1. Что называется радиоактивным излучением и его виды?
2. α -, β -, γ -лучи, их возникновение и механизм поглощения.
3. Как устроен счетчик Гейгера-Мюллера?
4. Вольт-амперная характеристика счётчика и её участки.
5. Счетная характеристика счетчика и её участки.
6. Как происходит гашение счетчика для разделения импульсов?

Список рекомендуемой литературы.

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: «Наука», 1972. – С. 9-18.
2. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. – М.: «Наука», 1972. С.388-395.
3. Ардашников С.Н. и др. Защита от радиоактивных излучений. – М.: Атомиздат, 1961. Ч.11. – С.3-10.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 53 ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТА

Цель работы: Исследование внешнего фотоэффекта, построение вольтамперной и световой характеристик фотоэлемента.

Теоретическое введение

Внешним фотоэффектом называется испускание электронов веществом под действием света. Энергетический баланс при фотоэффекте выражается уравнением Эйнштейна:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}, \quad (1)$$

где $h\nu$ - энергия светового кванта (фотона), переданная электрону;
 $A_{\text{вых}}$ - работа выхода электрона на поверхность вещества;
 $\frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$ - максимальная кинетическая энергия освобожденного электрона;
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ - постоянная Планка;
 ν - частота падающего светового излучения.

Уравнение (1) дает теоретическое обоснование законов фотоэффекта, экспериментально установленных Столетовым:

1. Максимальная скорость фотоэлектронов определяется частотой света ν_0 и не зависит от его интенсивности.
2. Фототок насыщения в вакуумном фотоэлементе пропорционален световому потоку.
3. Для каждой поверхности существует минимальная частота ν_0 (так называемая красная граница фотоэффекта), при которой еще возможен внешний фотоэффект.

$$\nu_0 = \frac{A_{\text{вых}}}{h}; \quad (2)$$

При частоте света $\nu < \nu_0$ фотоэффект отсутствует. Внешний фотоэффект находит широкое практическое применение. Приборы, действие которых основано на явлении фотоэлектрического эффекта, называются фотоэлементами.

Последовательность выполнения работы

Приборы и принадлежности: Фотоэлемент, эталонная лампа, зеркальный гальванометр, потенциометр, оптическая скамья с ползунками и шкалой, ключи, вольтметр.