

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Лабораторная работа № 10

**Определение
коэффициента
поглощения
радиоактивного излучения**

Ярославль
2006

Оглавление

1.	Краткая теория	3
1.1.	Закон радиоактивного распада	4
1.2.	Прохождение бета-частиц и гамма-лучей через вещество	4
1.3.	Доза излучения и доза поглощения	5
1.4.	Счетчик Гейгера - Мюллера	5
2.	Экспериментальная установка	6
3.	Подготовка радиометра к работе	6
4.	Порядок выполнения работы	7
	Задание 1. Определение фона счетчика.	7
	Задание 2. Определение массового коэффициента ослабления	7
5.	Контрольные вопросы	9

Лабораторная работа № 10

Определение коэффициента поглощения радиоактивного излучения

Цель работы: ознакомление с работой радиометра и определение массового коэффициента поглощения для алюминия и стали.

Литература: Савельев И.В. Курс общей физики, т. 3.

1. Краткая теория

Альфа-распад. Альфа-распадом называется самопроизвольное превращение ядра с испусканием α -частиц. α -частица — это ядро атома гелия. Способность к альфа-распаду наблюдается в основном у изотопов тяжелых элементов.

Бета-распад. Известно три типа бета-распада: электронный, позитронный и электронный захват.

Электронный бета-распад происходит в результате превращения одного нейтрона в протон, электрон и антинейтрино.

Позитронный бета-распад происходит в результате превращения одного протона в нейтрон, позитрон и нейтрино.

Электронный захват заключается в захвате ядром одного электрона из электронной оболочки атома. Обычно захватывается электрон с ближайшей к ядру K -оболочки. В результате захвата электрона один из протонов в ядре превращается в нейтрон и нейтрино.

Гамма-лучи. Альфа- и бета-распад обычно сопровождается гамма-излучением. Гамма-кванты испускаются практически одновременно с испусканием α и β -частиц, но не исходным ядром, а ядром-продуктом, переходящим из возбужденного состояния в основное.

Внутренняя конверсия. Переход возбужденного атомного ядра в состояние с меньшей энергией может происходить также путем непосредственной передачи энергии возбуждения электрону оболочки атома. Энергия возбужденного ядра много больше энергии связи электрона в оболочке, поэтому освободившийся электрон приобретает значительную энергию. Это явление называется внутренней конверсией.

Деление ядер. Способность к самопроизвольному делению обнуживается у тяжелых ядер. Деление сопровождается испусканием нейтронов (1-3 нейтрона на одно деление) и γ -квантов.

1.1. Закон радиоактивного распада

Количество распавшихся атомов dN за малый промежуток времени определяется формулой:

$$dN = -\lambda N_o dt, \quad (1.1)$$

где N_o — число атомов в начальный момент времени $t = 0$,
 λ — постоянная распада.

В интегральной форме закон радиоактивного распада имеет вид:

$$N = N_o \exp(-\lambda t). \quad (1.2)$$

Вместо постоянной распада λ иногда пользуются периодом полураспада:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (1.3)$$

Число распадов радиоактивных ядер, происходящих в препарате за единицу времени, называется активностью препарата A :

$$A = \lambda N. \quad (1.4)$$

В качестве единицы активности принят 1 Кюри. Кюри — это такое количество вещества, которое дает $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду.

1.2. Прохождение бета-частиц и гамма-лучей через вещество

При прохождении через вещество бета-частицы и гамма-кванты взаимодействуют в основном с электронами атомных оболочек. Энергия бета-частиц и гамма-квантов переходит при этом в другие виды энергии, число частиц и фотонов в пучке убывает по закону:

$$J = J_o \exp\left(-\frac{\rho d}{\delta}\right), \quad (1.5)$$

где d — толщина поглотителя,
 J_0 — число частиц (интенсивность пучка) перед слоем вещества,
 J — интенсивность пучка после прохождения слоя вещества,
 $\frac{1}{\delta}$ — массовый коэффициент поглощения, зависящий от природы вещества и энергии излучения.

1.3. Доза излучения и доза поглощения

Доза рентгеновского или гамма-излучения есть мера излучения, основанная на его ионизирующей способности. За единицу дозы принята доза, которая в 1 см^3 воздуха при нуле градусов Цельсия и нормальном атмосферном давлении производит $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов. Эта единица получила название **Рентген (Р)**.

Доза излучения характеризует лишь электромагнитное излучение. Более универсальной величиной является поглощенная доза, характеризующая количество энергии ионизирующего излучения, поглощенное единицей облучаемого вещества. Поглощенная доза излучения равная $0,01 \text{ Дж на } 1 \text{ кг}$ облученного вещества называется **рад**. Для воздуха средняя энергия, затрачиваемая на создание пары ионов, равна 34 эВ , поэтому 1 Р равен $0,88 \text{ рад}$.

1.4. Счетчик Гейгера - Мюллера

В данной работе в качестве приемника излучения применяется счетчик Гейгера - Мюллера. Он является своеобразным конденсатором, наполненным газом. Напряжение счетчика подбирается таким, что если в рабочем объеме счетчика ионизирующей частицей будет создана хотя бы одна пара ионов (электрон и положительный ион), то образовавшийся свободный электрон под действием электрического поля создает на пути к аноду электронно-ионную лавину. В цепи счетчика возникает электрический ток.

Для того, чтобы счетчик мог зарегистрировать прохождение новых ионизирующих частиц, необходимо гасить заряд. Гашение заряда производится применением гасящих радиотехнических средств или заполнением счетчика специальными смесями (самогасящиеся счетчики).

Счетчик Гейгера - Мюллера, типа СТС-6, применяемый в данной работе, считает β и γ частицы и относится к самогасящимся счетчикам. Он представляет собой цилиндр из нержавеющей стали с толщиной стенок 50 мг/см^2 с ребрами жесткости для прочности. Счетчик заполнен смесью паров неона и брома. Бром гасит разряд.

2. Экспериментальная установка

Для регистрации радиоактивного излучения в данной работе используется радиометр ТИСС с выносным блоком ТЧ. Блок ТЧ является приемником излучения и содержит счетчик СТС-6. В основном блоке находится механический счетчик импульсов и микроамперметр, показывающий среднее число импульсов в минуту (электрический счетчик).

В качестве радиоактивного препарата используется краска с циферблата светящихся в темноте часов, находящаяся в стальном контейнере, который крепится к стержню выносного блока с помощью "лапки" от штатива.

В качестве поглотителя служат стальные и алюминиевые пластинки. Выходное отверстие контейнера должно находиться точно под счетчиком СТС-6 на расстоянии нескольких миллиметров, достаточным, чтобы между источником и поверхностью выносного блока ТЧ можно было вставить алюминиевые пластинки.

3. Подготовка радиометра к работе

Для приведения радиометра в рабочее состояние необходимо:

1. На передней панели тумблер "Механический счет" поставить в положение "Включено", тумблер "Установка нуля – Работа" поставить в положение "Работа", переключатель пределов измерений поставить в положение "3000".
2. На задней панели тумблер "Компенсатор фона" поставить в положение "Ручное", тумблер "Проверка – Работа" поставить в положение "Работа".
3. Включить прибор в сеть переменного тока, включить на передней панели тумблер "Сеть" и прогреть радиометр в течении не менее 5

минут.

4. Установить на ноль механический счетчик.

Для справки. На передней панели прибора расположен транспарант "Чисто - Готов - Грязно", который используется в режиме проверки загрязненности поверхности радиоактивными веществами. Ручкой "Чувствительность" устанавливается напряжение на приемном блоке. В данной работе должно быть установлено напряжение 400 вольт.

4. Порядок выполнения работы

Задание 1. Определение фона счетчика.

Каждый счетчик обладает фоном, то есть при отсутствии облучения в нем возникают разрядные импульсы. Эти импульсы могут быть вызваны космическими лучами и другими причинами. Фон определяют при удаленном радиоактивном препарате.

Порядок измерения следующий:

1. Устанавливают ноль механического счетчика.
2. Включают тумблер "Механический счет" и одновременно запускают секундомер.
3. По истечении 3 минут (с точностью до 1-2 секунд) тумблер "Механический счет" выключают и снимают показания с механического счетчика.

Задание 2. Определение массового коэффициента ослабления (коэффициента поглощения).

Согласно формуле (1.5) массовый коэффициент поглощения μ равен:

$$\mu = \frac{1}{\delta} = \frac{1}{\rho d} \ln \frac{N_0}{N}. \quad (4.6)$$

Следует отметить, что число импульсов N зависит от толщины поглотителя d , то есть $N = N(d)$.

$$f(d) = \frac{1}{\rho} \ln \frac{N_o}{N(d)}. \quad (4.7)$$

где ρ — плотность вещества,
 d — толщина поглощающих пластинок,
 N_o — количество импульсов без поглотителя ($d = 0$),
 $N(d)$ — количество импульсов с поглотителем толщиной d .

Следует учесть, что в формулу (4.7) величины N_o и N входят с учетом фона, определенного в первом задании. В этом случае формула (4.7) преобразуется к виду:

$$f(d) = \frac{1}{\rho} \ln \frac{N_o - N_\phi}{N(d) - N_\phi}. \quad (4.8)$$

График функции $f(d)$ представляет собой прямую у которой тангенс угла наклона прямой равен коэффициенту поглощения

$$\operatorname{tg} \varphi = \mu. \quad (4.9)$$

Измерения следует сделать с двумя различными поглотителями: сталью и алюминием. Все пластинки из одного материала имеют одинаковую толщину, которую необходимо измерить микрометром.

Для каждого графика следует получить шесть точек, то есть измерения провести сначала без поглотителя, потом с одной, двумя, тремя, четырьмя и пятью пластинками. В каждой точке измеряется число импульсов **за одинаковое время (в течении 3 минут)** по методике описанной в первом задании.

Среднеквадратичная погрешность числа отсчета счетчика равна корню из полученного числа отсчетов счетчика, таким образом

$$\begin{aligned} \Delta N_o &= \sqrt{N_o} \\ \Delta N_\phi &= \sqrt{N_\phi} \\ \Delta N &= \sqrt{N} \end{aligned} \quad (4.10)$$

Среднеквадратичная погрешность Δf определяется по известной формуле для расчета ошибки при косвенных измерениях.

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial N_o}\right)^2 (\Delta N_o)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial N}\right)^2 (\Delta N)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial N_\phi}\right)^2 (\Delta N_\phi)^2} \quad (4.11)$$

5. Контрольные вопросы

Подставив формулы (4.10) в выражения (4.11) и взяв частные производные, самостоятельно выведите формулу для расчета погрешности Δf в данном эксперименте.

Результаты измерений и расчетов удобно записать в виде таблиц (таблица 1) отдельно для алюминия и для стали.

K — число пластинок поглотителя,
 d_o — толщина одной пластинки

Таблица 1

N_ϕ	ΔN_ϕ	K	$d = Kd_o$	N	ΔN	f	Δf
		0					
		1					
		2					
		3					
		4					
		5					

По данным из таблиц строятся два графика $f(d)$ с указанием **среднеквадратичной погрешности для каждой точки** и по ним определяются коэффициенты поглощения для стали и алюминия.

5. Контрольные вопросы

1. Виды естественной радиоактивности.
2. Бета-распад. Как объяснить вылет электронов из ядра атома?
3. Статистический закон радиоактивного распада.
4. Устройство и принцип действия счетчика Гейгера.
5. Физический смысл массового коэффициента поглощения радиоактивного излучения.
6. Как можно увеличить точность в определении массового коэффициента поглощения.