

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 63

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА И ЭНЕРГИИ АЛЬФА-ЧАСТИЦ

1. Цель работы

Целью работы является изучение свойств α -частиц, закона радиоактивного распада, определение периода полураспада T и постоянной распада λ , длины свободного пробега и энергии α -частиц.

2. Краткая теория

α -частицы могут выделяться при радиоактивном распаде ядер, α -частица (ядро атома гелия) состоит из двух протонов и двух нейтронов, прочно связанных между собой. Масса α -частицы составляет 4,00273 а. е. м. или $6,644 \cdot 10^{-27}$ кг, заряд равен двум положительным элементарным зарядам, спин и магнитный момент равны нулю.

α -частицы испускаются атомными ядрами в процессе самопроизвольного (спонтанного) радиоактивного распада. В результате α -распада "материнское" ядро с зарядом Z и массовым числом A превращается в новое "дочернее" ядро с зарядом $(Z-2)$ и массовым числом $(A-4)$.

Каждое из ядер имеет некоторую вероятность λ , определенную для каждого изотопа, претерпеть распад за единицу времени. Запишем закон радиоактивного распада в дифференциальной форме: число ядер dN , распадающихся за интервал времени dt пропорционально этому промежутку времени и числу ядер N , еще не распавшихся к моменту времени t .

$$dN = -\lambda N dt . \quad (1)$$

Интегрируя по времени t , получаем закон радиоактивного распада в интегральной форме

$$N = N_0 \cdot \exp(-\lambda t) = N_0 \cdot \exp(-t/\tau) , \quad (2)$$

где N - число нераспавшихся атомов по истечении времени t ;

N_0 - начальное число атомов;

$\tau = 1/\lambda$ - время, за которое число атомов уменьшается в e раз (время жизни ядра).

На практике часто используют понятие периода полураспада T . Это время, в течение которого число ядер исходного элемента уменьшается в два раза.

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2 = 0,693\tau . \quad (3)$$

Периоды полураспада альфа-активных ядер колеблются в очень широких пределах (от $4,2 \cdot 10^{-6}$ с для полония ${}_{84}\text{Po}^{212}$ до $1,38 \cdot 10^{10}$ лет для тория ${}_{90}\text{Th}^{232}$).

Каждый α -радиоактивный изотоп испускает α -частицы вполне определенных и различающихся друг от друга энергий, т.е. энергетический спектр α -частиц для каждого изотопа состоит из небольшого числа моноэнергетических групп разной интенсивности. Встречаются изотопы, испускающие одну энергетическую группу α -частиц. По энергии и интенсивности излучений можно определять содержание радиоизотопов в руде и горных породах, что является основной задачей рудной радиометрии. Так, например, радиоактивность ${}_{84}\text{Po}^{210}$ измеряют по интенсивности α -излучения.

Измерения интенсивности излучения проводят на тонких и толстых (насыщенных) слоях пробы. *Тонким слоем* называют такой, самопоглощением которого можно пренебречь. Для определения радиоактивности руд и горных пород чаще используют насыщенные слои. Излучение *толстого слоя* пропорционально концентрации радиоактивного вещества в пробе и зависит от среднего атомного номера элементов. Это свойство и составляет основу рудной радиометрии.

Для определения процентного содержания радиоизотопа в руде используется *метод относительной активности*. В этом методе сравнивается активность пробы с активностью эталона, в котором известно содержание данного изотопа. Данный метод используется также в случае экспресс-анализов руд в больших емкостях (вагонетках, автомашинах).

Рассмотрим физические основы взаимодействия альфа-излучения с веществом. Вылетевшая из ядра α -частица теряет кинетическую энергию, сталкиваясь с атомами вещества поглотителя.

Возможны три вида потерь энергии движущейся заряженной частицы: ионизационные потери, потери энергии на образование ядер отдачи и на излучение. В случае, когда поглотителем является воздух, основным видом потерь энергии являются ионизационные потери.

Сущность этих потерь состоит в том, что при столкновении частицы с атомами поглотителя последним передается энергия, достаточная для перехода электронов атома на более высокий энергетический уровень (возбуждение атома) или для отрыва электронов от атома (ионизация). Величина ионизационных потерь зависит от свойств вещества и скорости α -частиц. Для α -частиц с близкими энергиями потери пропорциональны плотности вещества и длине пути.

Между периодами полураспада ядер и начальной энергией α -частиц существует математическая зависимость, которая объясняется при помощи квантово-механической теории α -распада. Задолго до создания этой теории Гейгер и Нэттол эмпирически установили закон, по которому для каждого из трех семейств радиоактивных элементов имеет место линейная зависимость между логарифмом экстраполированного пробега R_1 и постоянной распада λ .

$$\lg \lambda = A + B \cdot \lg R_1, \quad (4)$$

где $A = -44,20$ для используемого в работе изотопа ${}_{94}\text{Pu}^{239}$;

$B = +57,50$ для всех радиоактивных семейств;

R_1 - экстраполированный пробег α -частиц, выраженный в сантиметрах.

Измерение энергии α -частиц возможно несколькими способами: по полному энергосделению при прохождении α -частиц через газовую камеру, полупроводниковый детектор или сцинтилляционный счетчик; по кривизне траектории частиц в магнитном поле (камера Вильсона); по пробегу α -частиц в веществе.

В данной работе используется третий метод определения энергии α -частиц.

Путь, пройденный α -частицей при ее замедлении до тепловых скоростей, принято называть *полным пробегом*. Различия в полных пробегах отдельных частиц обусловлены флуктуацией концентрации атомов поглотителя и флуктуацией энергии, теряемой частицей в результате каждого соударения.

Средним пробегом R_0 называют величину пробега, равную толщине вещества, в котором поглощается половина всех α -частиц.

Его определяют с помощью кривой поглощения α -частиц в веществе. Так называют график, выражающий зависимость количества N моноэнергетических α -частиц, фиксируемых счетным устройством, от расстояния X до источника. Кривая поглощения изображена на рис. 1.

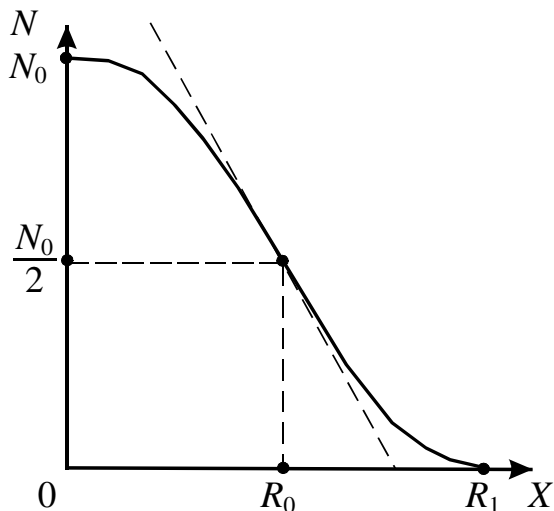


Рис. 1. Кривая поглощения α -частиц в веществе

Значение экстраполированного пробега R_1 получают при пересечении с осью X касательной, проведенной в точке наиболее крутого спада кривой.

Практически же при нулевом уровне фона, как наблюдается в нашей установке, за приближенное значение экстраполированного пробега можно принять такое расстояние от источника, при котором число зарегистрированных частиц обращается в нуль или принимает значение, близкое к нулевому. Более точное значение экстраполированного пробега для нашей установки можно рассчитать из эмпирической формулы

$$R_1 = (R_0 + 2,42) \text{ см} , \quad (5)$$

где R_0 – средний пробег, выраженный в сантиметрах до сотых долей, находится по значению проекции точки перегиба кривой поглощения на ось X , как показано на рис. 1.

3. Выполнение работы

3.1. Необходимые приборы: измеритель скорости счета УИМ2-2, установка для определения пробегов α -частиц.

3.2. Описание приборов

Установка для измерения пробегов α -частиц (рис. 2) состоит из стальной трубы 1, которая спереди закрывается крышкой 2. Под крышкой располагается ходовой винт 3 с шагом 2 мм, оканчивающийся рукояткой 4 с указателем 5. На другом конце ходового винта находится держатель 6 источника α -частиц плутония ${}_{94}\text{Pu}^{239}$. Поворачивая винт рукояткой 4 на один оборот, можно менять расстояние между источником и сцинтилляционным детектором на 2 мм. Блок детектирования 8 состоит из сцинтилляционного детектора 7 на основе ZnS, фотоумножителя ФЭУ и радиотехнических блоков усиления и питания. Попавшие на детектор α -частицы вызывают световые вспышки (сцинтилляции), свет которых, попадая на фотокатод фотоумножителя, выбивает из катода электроны (явление внешнего фотоэффекта). Выбитые электроны "умножаются" в результате вторичной эмиссии на динодах фотоумножителя. В итоге на нагрузочном сопротивлении цепи анода ФЭУ возникает импульс напряжения, подаваемый после усиления на вход измерителя скорости счета.

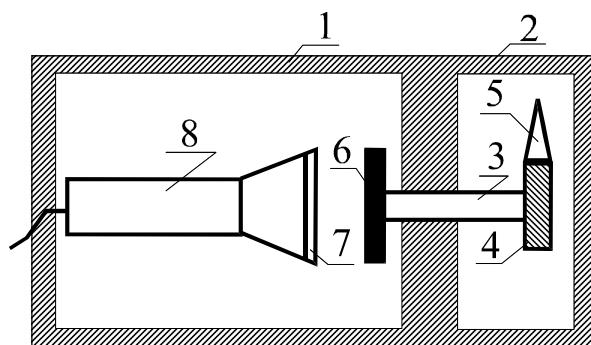


Рис. 2. Схема установки для измерения пробегов α -частиц

Измеритель скорости счета является сложным радиотехническим прибором, позволяющим определять скорость счета в импульсах за секунду. На его переднюю панель выведены клавиши "сеть", "измерение" (1, 2 каналы), стрелочный прибор с двумя шкалами, табло автоматического переключателя диапазонов измерения и другие кла-

виши, не используемые в работе. Снятие показаний (имп./с) производится по шкале, соответствующей светящемуся множителю табло автоматического переключателя диапазонов, с умножением показаний на светящийся множитель.

3.3. Порядок выполнения работы

Включите измеритель скорости счета в сеть с напряжением 220 В, нажмите клавиши "сеть" и "измерение" (1 канал), дайте прибору прогреться в течение 5 минут.

Откройте крышку установки для определения пробега α -частиц и ручкой ходового винта придвиньте источник вплотную к детектору. Запишите показания стрелочного прибора в табл. 1 для $X = 0$.

Таблица 1

Результаты измерений

X, мм	N_1	N_2	\bar{N}
	имп/с		
0			
4			
8			
12			
16			
20			
24			
28			
30			
32			
34			
36			

Пример: на табло светится в верхней части число 100, показания стрелочного прибора берутся по верхней шкале с умножением их на 100. После установки источника α -частиц в новое положение при снятии показаний по верхней шкале нужно подождать 0,5 мин, а по нижней - 2 мин.

Проведите измерения скорости счета для всех значений X , указанных в табл. 1. Чтобы отодвинуть источник от детектора на 2 мм, нужно плавно повернуть ручку ходового винта против часовой стрелки на один оборот.

Для увеличения степени точности снимите кривую поглощения еще раз и усредните показания измерителя скорости счета. Для увеличения степени точности снимите кривую поглощения еще раз и усредните показания измерителя скорости счета.

По усредненным данным постройте график зависимости $\bar{N} = f(X)$ и определите R_0 (см. рис. 1), а затем экстраполированный пробег R_1 по формуле (5).

По графику зависимости $R_1 = f(W)$, приведенному на рис. 3, определите энергию α -частиц.

По формулам (4) и (3) вычислите постоянную радиоактивного распада λ и период полураспада T плутония ${}_{94}\text{Pu}^{239}$.

Сравните найденные значения энергии α -частиц и периода полураспада с табличными, равными 5,15 МэВ и 24080 лет.

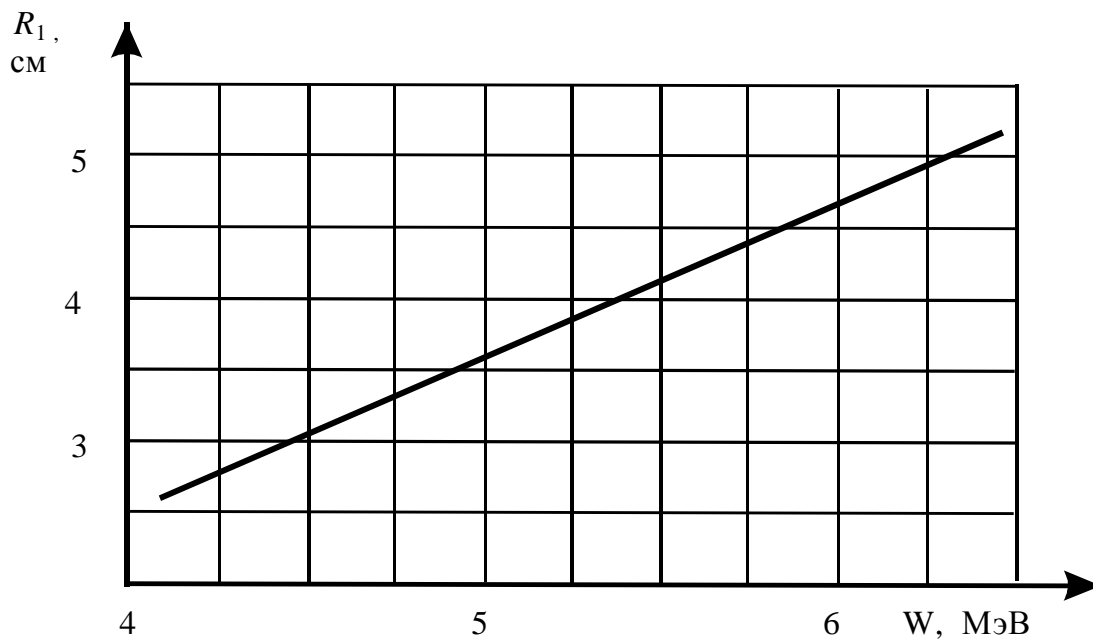


Рис. 3. График зависимости пробега α -частиц от их энергии

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое α -частица, каков её состав?
2. Запишите и поясните закон радиоактивного распада в дифференциальной и интегральной формах.
3. Что называется периодом полураспада?
4. Запишите закон Гейгера - Нэттола.
5. Что такое средний и экстраполированный пробег α -частиц?
6. Как в работе определяется энергия и период полураспада α -частиц.
7. Поясните работу блока детектирования α -частиц.
8. Расскажите порядок выполнения работы.
9. Задача. С помощью радиоактивного изотопа ${}^6\text{C}^{14}$, период полураспада которого 5600 лет, был установлен возраст образца торфа в 110000 лет. Во сколько раз за это время уменьшилась концентрация радиоактивного углерода в торфе?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Защита от ионизирующих излучений: учебник для вузов. Т. 1. Физические основы защиты от излучений / под ред. Н. Г. Гусева. 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Атомиздат, 1989.- 512 с.

Практикум по ядерной физике. М.: Изд-во МГУ, 1988.- 197 с.

Применение методов атомной и ядерной физики в горном деле / под ред. В. В. Ржевского.- М.: Наука, 1969.- 206 с.

Савельев, И. В. Курс общей физики. Т. 3 / И. В. Савельев. - М.: Наука, 1982.-304 с.

Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова.- М.: Высшая школа, 1994.-541 с.