

Лабораторная работа 96

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ПРОБЕГА БЕТА-ЧАСТИЦ В АЛЮМИНИИ И ИХ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

Цель работы: ознакомиться с одним из методов измерения энергии β -частиц, возникающих при радиоактивном распаде, и определить опытным путем длину их пробега в алюминии.

Приборы и материалы: лабораторная установка для изучения зависимости интенсивности потока β -излучения от толщины поглощающего слоя металла, включающая в себя источник β -частиц и счетчик Гейгера, набор алюминиевых пластинок, штангенциркуль, секундомер. Лист миллиметровой бумаги.

Теоретическое введение

Ядра атомов существующих в природе веществ состоят из *протонов* и *нейтронов*. Массы их одинаковы и приблизительно в 1840 раз превышают массу электрона, которая составляет $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Частица протон имеет положительный заряд, равный по модулю заряду электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Нейтрон – нейтральная частица, не имеющая заряда. Обе эти частицы называются *нуклонами*.

Ядра атомов бывают стабильные (устойчивые) и нестабильные. Нестабильные ядра через некоторое время спонтанно (самопроизвольно) распадаются, испуская элементарные частицы (электроны, позитроны, мюоны, нуклоны), α -частицы (ядра атома гелия) или другие легкие ядра и превращаются в ядра других элементов. Свойство ядер атомов распадаться называется *радиоактивностью*, а сами ядра – радиоактивными.

Различают естественную (природную) радиоактивность ядер, существующих в природе, и радиоактивность искусственную – распад изотопов, полученных в лабораторных условиях. (*Изотопами называются ядра одного и того же элемента, имеющие в своем составе разное число нейтронов*).

Распад ядер с испусканием электронов (e^-) или позитронов (e^+) называется соответственно *электронным* или *позитронным*

β -распадом. (*Позитрон* – частица, аналогичная электрону, заряд которой положительный). Распад ядер с испусканием ядер атома гелия называется α -распадом. Интенсивность α - и β -излучения может быть измерена с помощью *счетчика Гейгера*.

Счетчик Гейгера состоит из датчика и счетчика числа частиц, попавших в датчик. Датчик, представляющий собой наполненный газом при небольшом давлении цилиндрический конденсатор, изображен на рисунке 96.1. Одной обкладкой конденсатора служит цилиндр C , а другой – тонкая металлическая проволока DF , проходящая по оси цилиндра. Между нитью и цилиндром с помощью источника ЭДС ε создается

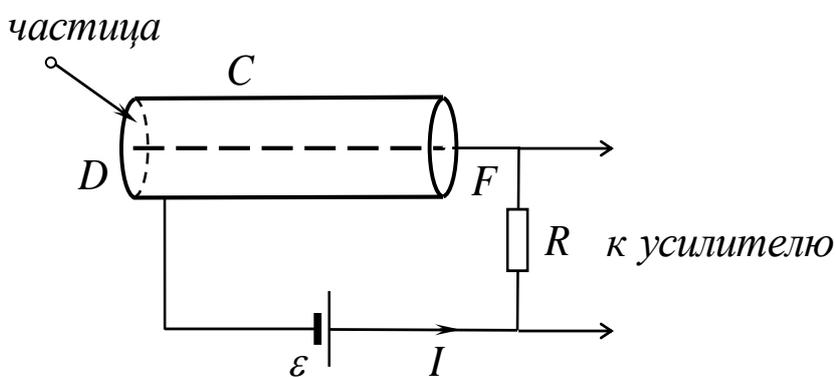


Рисунок 96.1

электрическое поле такой напряженности, при которой в газе может возникнуть электрический ток, т.е. начаться *самостоятельный разряд*. Ток возникает, если в пространстве между электродами появляются свободные заряды – *электроны* и *положительные ионы*, которые образуются в результате ионизации молекул газа под действием быстрой заряженной частицы. В электрическом поле образовавшиеся ионы движутся ускоренно и за время между двумя последовательными соударениями с молекулами газа приобретают энергию, достаточную для их ионизации. При столкновении ионов с молекулами возникают новые ионы и электроны, которые участвуют в новых актах ионизации молекул.

Ток в цепи I резко возрастает, в результате чего увеличивается и напряжение $U_R = IR$ на включенном в цепь резисторе R . Поскольку сумма напряжений на резисторе U_R и цилиндрическом датчике $U_{цил}$ постоянна и равна ЭДС источника

Ток в цепи I резко возрастает, в результате чего увеличивается и напряжение $U_R = IR$ на включенном в цепь резисторе R . Поскольку сумма напряжений на резисторе U_R и цилиндрическом датчике $U_{цил}$ постоянна и равна ЭДС источника

$$\varepsilon = U_{цил} + U_R,$$

возрастание U_R ведет уменьшению напряжения $U_{цил}$ между нитью и цилиндром датчика. При этом самостоятельный разряд прекращается и счетчик готов к приему следующей заряженной частицы. Скачок напряжения на резисторе R фиксируется с помощью счетчика числа частиц.

Процессы, возникающие при прохождении заряженных частиц через вещество, имеют очень важное практическое значение. Без знания этих процессов нельзя понять методы регистрации ядерных частиц или, например, рассчитать толщину бетонной стены для радиационной защиты от ядерных излучений ускорителя частиц.

Общая картина прохождения частиц высокой энергии через вещество очень сложна. Частицы сталкиваются с электронами атомов, рассеиваются кулоновскими полями ядер.

По механизму прохождения через вещество частицы можно разбить на тяжелые и легкие заряженные частицы. К легким заряженным частицам относятся *электроны* и *позитроны*, к тяжелым – все остальные: *мюоны*, *протоны*, *α -частицы*, *ядра атомов*.

Тяжелая частица, пролетающая сквозь вещество, ”расталкивает” электроны атомов своим кулоновским полем, постепенно теряет свою энергию и останавливается. Обладая большой массой, она мало отклоняется от своего пути при столкновении с электронами. Поэтому траектория тяжелой заряженной частицы в веществе практически прямолинейна.

Одной из величин, характеризующих прохождение частиц через вещество, является *полный пробег R* частицы в веществе. При этом под R в ядерной физике понимают произведение длины пробега частицы d на плотность ρ вещества, в котором она движется:

$$R = \rho \cdot d, \quad [R] = \text{г/см}^2. \quad (1)$$

Эта величина служит мерой толщины задерживающего слоя вещества и оказывается примерно одинаковой для всех веществ.

Для тяжелых частиц основными являются потери за счет ионизации и возбуждения атомных электронов вещества. Эти потери носят название *ионизационных*.

Прохождение через вещество легких частиц – электронов и позитронов – из-за малости их массы приводит к значительному отклонению их от первоначального направления движения, а при столкновениях может порождать кванты электромагнитного излучения. Это излучение называется *тормозным*, а потери энергии электрона на тормозное излучение называются *радиационными*.

Интенсивность тормозного излучения, т.е. количество энергии, излучаемой в секунду, для частицы, движущейся с ускорением a , обратно пропорциональна квадрату массы частицы. Отсюда следует, что радиационные потери важны только для электронов, но не для тяжелых частиц. Радиационные потери линейно растут с энергией и начиная с некоторой критической энергии $W_{кр}$ становятся преобладающими. Эта энергия

$$W_{кр} \approx 800/Z \text{ МэВ, (мегаэлектронвольт).} \quad (2)$$

(1 электронвольт – энергия, приобретаемая электроном, прошедшим ускоряющую разность потенциалов 1 вольт: $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$).

Рассмотрим теперь вопрос о пути, пройденном заряженной частицей в веществе. На рисунках 96.2 и 96.3 изображена зависимость числа частиц n , прошедших через слой вещества за 1 минуту, от толщины слоя x .

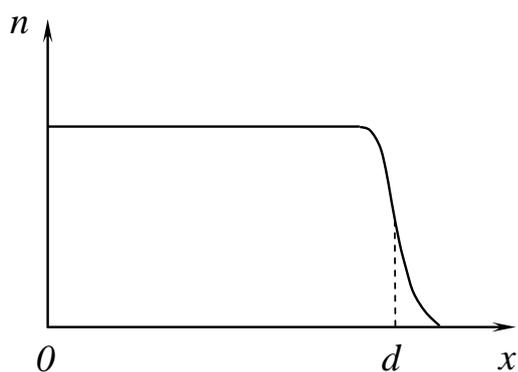


Рисунок 96.2

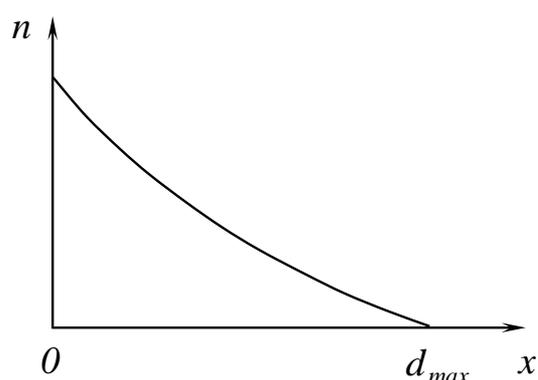


Рисунок 96.3

Для тяжелых частиц (рис. 96.2) кривая этой зависимости сначала идет горизонтально (все частицы проходят слой насквозь), а при толщине d , равной пробегу, резко спадает до нуля. Для электронов же

(рис. 96.3) эта кривая с увеличением толщины слоя спадает до нуля плавно, поскольку путь электрона в веществе – ломаная кривая и чем толще слой, тем сложнее электрону пройти его по прямой линии. Поэтому для электронов вводят понятие максимального пробега. *Максимальным пробегом называется минимальная толщина слоя вещества, в котором задерживаются все электроны.* Очевидно, что максимальный пробег совпадает с длиной криволинейного пути, который электрон проходит в веществе.

Теоретически рассчитать максимальный пробег R_{max} трудно. Поэтому для оценок обычно пользуются таблицами и полуэмпирическими формулами. Для моноэнергетических электронов с энергией $W < W_{кр}$ хорошо действует простая формула

$$R_{max} = \rho \cdot d_{max} = 0,526 W_{max} - 0,24, \quad (3)$$

где энергия W выражена в МэВ, а R_{max} – в г/см²; d_{max} – толщина слоя вещества, полностью задерживающего поток электронов.

Отсюда можно найти максимальную энергию β -частиц:

$$W_{max} = (R_{max} + 0,24) / 0,526 . \quad (4)$$

Описание установки

Экспериментальной установка изображена на рисунке 96.4. Она состоит из массивного цилиндрического защитного корпуса, внутри которого располагаются источник β -частиц и датчик счетчика Гейгера. Слева от него находится пересчетный прибор ПП-16 и электрический секундомер с цифровой шкалой. На передней панели прибора имеются кнопки управления и стеклянные газонаполненные лампы со светящимися сегментами, показы-

ФОТО

Рисунок 96.4

вающие число импульсов. Правая крайняя показывает единицы импульсов, следующая, расположенная левее, – десятки, следующая – сотни, и т.д. Самая левая показывает сотни тысяч импульсов. При отсчете их показания следует суммировать.

Защитный корпус установки можно перемещать по направляющим, открывая и закрывая источник частиц и счетчик Гейгера. При проведении измерений они должны быть закрыты.

Цифровой секундомер имеет кнопки “Пуск” (красная) и “Сброс”, при нажатии на которую его показания обнуляются.

Порядок выполнения работы

1. Включить в сеть напряжением 220 В пересчетный прибор ПП-16 и электрический секундомер. На панели прибора нажать красную кнопку “Вкл”.
2. *Подготовить прибор к проведению измерений.* Для этого:
 - кнопкой “Сброс” обнулить показания счетчика;
 - кнопки “Пуск”, “Стоп”, “Сброс”, “Работа” привести в отжатое положение.

Кнопки “Вход”:	1-я – нажата	“1:1”
	2-я 	– отжата
	3-я 	– нажата
3. Измерить с помощью штангенциркуля толщину d одной из тонких алюминиевых пластинок, поместить её между источником β -частиц и датчиком счетчика Гейгера и задвинуть защитный корпус установки.
4. Нажать кнопку “Пуск” и одновременно включить секундомер, удерживая его красную кнопку. Спустя 60 секунд нажать кнопку “Стоп” и выключить секундомер. Показания счетчика n и толщину пластинки d занести в таблицу 96.1.
5. Кнопкой “Сброс” обнулить показания счетчика. Соответствующей кнопкой обнулить показания секундомера.

6. Измерить толщину d еще одной алюминиевой пластинки и поместить её рядом с первой. Задвинуть защитный корпус установки.
7. Повторить действия, указанные пп. 4 – 6, используя оставшиеся алюминиевые пластинки. В каждой следующей строке таблицы указывать суммарную толщину слоя алюминиевых пластинок.
8. Используя данные таблицы 96.1, построить на миллиметровой бумаге график зависимости n (имп/мин) от толщины слоя алюминия d (мм).
9. Экстраполировать кривую зависимости $n = f(d)$ до пересечения с осью абсцисс. Точка пересечения даст значение d_{max} – толщины слоя алюминия, полностью задерживающего β -частицы.
10. По формуле (3) вычислить длину пробега β -частиц, а по формуле (4) – максимальное значение их энергии.
11. Отключить питание приборов и извлечь алюминиевые пластинки, размещенные между источником β -частиц и датчиком счетчика Гейгера.
12. Подготовить ответы на приведенные ниже контрольные вопросы.

Отчет о выполненной работе

- 1 Рабочие формулы для определения соответственно длины пробега β -частиц в алюминии и их максимальной энергии:

$$R_{max} = \rho \cdot d_{max}, \quad [R] = \text{г/см}^2;$$

$$W_{max} = (R_{max} + 0,24) / 0,526, \quad [W] = \text{МэВ}.$$

- 2 Справочные данные:

плотность алюминия $\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

- 3 Результаты эксперимента

Таблица 96.1

Номер опыта	Суммарная толщина слоя алюминия d , мм	Число импульсов, отсчитанных счетчиком за 1 мин n , имп/мин	Толщина слоя алюминия, полностью задерживающего поток β -частиц, d_{max} , мм	Длина пробега β -частиц в алюминии R_{max} , г/см ²
1				
2				
3				
4				Максимальная энергия β -частиц W_{max} , МэВ
5				
6				
7				
8				

Контрольные вопросы

- 1 Опишите строение атома и атомного ядра. Что такое нуклоны?
- 2 Что называется радиоактивностью? Что такое стабильные и нестабильные ядра?
- 3 Что называется изотопами?
- 4 Что такое позитрон?
- 5 Какие виды радиоактивного распада вам известны? Что такое период полураспада ядер атомов?
- 6 Опишите устройство и принцип действия счетчика Гейгера.

- 7 Какие физические величины характеризуют прохождение заряженных частиц через слой вещества?
- 8 Что такое ионизационные и радиационные потери энергии частиц в веществе? Какие из них преобладают для тяжелых и легких частиц?
- 9 Что называется максимальным пробегом электронов в веществе?
- 10 Дайте определение электронвольта – единицы измерения энергии микрочастиц.

Литература

- 1 Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. М., “Наука”, 1980, 728 с.
- 2 Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная и ядерная физика, ч.2, М.: “Наука”, 1989, 416 с.