

ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ПРОБІГУ БЕТА-ЧАСТИНОК В АЛЮМІНІІ ТА ЇХ МАКСИМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета роботи: ознайомитися з одним із методів вимірювання енергії β -частинок, що виникають при радіоактивному розпаді, і визначити дослідним шляхом довжину їх пробігу в алюмінії.

Прилади та матеріали: лабораторна установка для вивчення залежності інтенсивності потоку β -випромінювання від товщини поглинаючого шару металу, що включає в себе джерело β -частинок і лічильник Гейгера; набір алюмінієвих пластинок, штангенциркуль, електронний секундомір. Аркуш міліметрового паперу.

Теоретичні відомості

Ядра атомів речовин складаються з протонів і нейтронів. Маси їх однакові і приблизно в 1840 разів перевищують масу електрона, яка становить $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Частинка протон має позитивний заряд, рівний за модулем заряду електрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Нейтрон – нейтральна частинка. Обидві вони називаються *нуклонами*.

Ядра атомів бувають стабільні (стійкі) і нестабільні. Нестабільні ядра через деякий час спонтанно (мимовільно) розпадаються, випускаючи елементарні частинки (електрони, позитрони, мюони, нуклони), α -частки (ядра атома гелію) або інші легкі ядра і перетворюються в ядра інших елементів. *Властивість ядер атомів розпадатися називається радіоактивністю, а самі ядра – радіоактивними.*

Розрізняють природну радіоактивність ядер, які існують у природі, і радіоактивність штучну – розпад ізотопів, отриманих в лабораторних умовах. (*Ізотопами називаються ядра одного і того ж елемента, які мають у своєму складі різне число нейтронів*).

Розпад ядер з випусканням електронів (e^-) або позитронів (e^+) називається відповідно *електронним* або *позитронним β -розпадом*. (*Позитрон – частинка, аналогічна електрону, заряд якої позитивний*). Розпад ядер з випусканням ядер атома гелію назива-

ється α -розпадом. Інтенсивність α - і β -випромінювання може бути виміряна за допомогою лічильника Гейгера.

Лічильник Гейгера складається з датчика і лічильника числа частинок, які потрапляють в датчик. Датчик, що являє собою наповнений газом при невеликому тиску циліндричний конденсатор, зображений на рисунку 96.1. Однією обкладкою конденсатора служить циліндр C , а другою – тонкий металевий дріт DF , що проходить по осі циліндра.

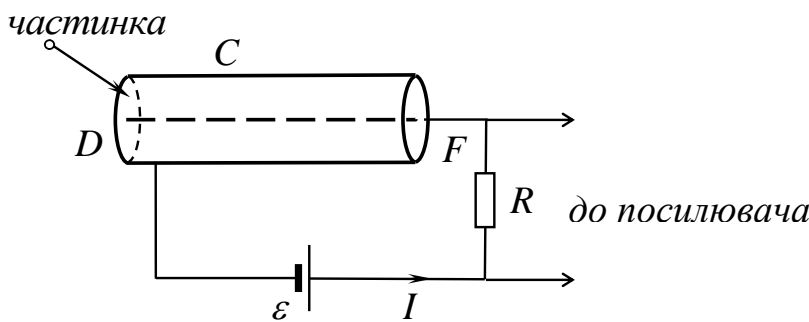


Рисунок 96.1

Між ниткою і циліндром за допомогою джерела ЕРС ε створюється електричне поле такої напруженості, при якій в газі може виникнути електричний

струм, тобто початися *самостійний розряд*. Струм виникає, якщо в просторі між електродами з'являються вільні заряди – *електрони і позитивні йони*, які утворюються в результаті іонізації молекул газу під дією швидкої зарядженої частинки. В електричному полі йони, що утворилися, рухаються прискорено і за час між двома послідовними зіткненнями з молекулами газу набувають енергію, достатню для їх іонізації. При зіткненні йонів з молекулами виникають нові йони і електрони, які беруть участь в нових актах іонізації молекул.

Струм у ланцюзі I різко зростає, в результаті чого збільшується і напруга $U_R = IR$ на ввімкненому в ланцюг резисторі R . Оскільки сума напруг на резисторі U_R і циліндричному датчику $U_{цил}$ постійна і дорівнює ЕРС джерела

$$\varepsilon = U_{цил} + U_R,$$

зростання U_R веде до зменшення напруги $U_{цил}$ між ниткою і циліндром датчика. При цьому самостійний розряд припиняється і лічильник готовий до прийому наступної зарядженої частинки. Стри-

бок напруги на резисторі R фіксується за допомогою лічильника числа частинок.

Процеси, які виникають при проходженні заряджених частинок через речовину, мають дуже важливе практичне значення. Без знання цих процесів не можна зрозуміти методи реєстрації ядерних частинок або, наприклад, розрахувати товщину бетонної стіни для радіаційного захисту прискорювача частинок від ядерних випромінювань.

Загальна картина проходження частинок високої енергії через речовину дуже складна. Частинки зіштовхуються з електронами атомів, розсіюються кулоновськими полями ядер.

По механізму проходження через речовину частинки можна розділити на важкі та легкі заряджені частинки. До легких відносяться *електрони і позитрони*, до важких – всі інші: *мюони, протони, α -частинки, ядра атомів*.

Важка частинка, пролітаюча через речовину, "розштовхує" електрони атомів своїм кулонівським полем, поступово втрачає свою енергію і зупиняється. Маючи велику масу, вона мало відхиляється від свого шляху при зіткненні з електронами. Тому траєкторія важкої зарядженої частинки в речовині практично прямолінійна.

Однією з величин, що характеризують проходження частинок через речовину, є *повний пробіг R* . При цьому під R в ядерній фізиці розуміють добуток довжини пробігу частинки d на щільність ρ речовини, в якій вона рухається:

$$R = \rho \cdot d, \quad [R] = \text{г/см}^2. \quad (96.1)$$

Ця величина служить мірою товщини затримуючого шару речовини і виявляється приблизно однаковою для всіх речовин.

Для важких частинок основними є втрати за рахунок іонізації і збудження атомних електронів речовини. Ці втрати носять назву *іонізаційних*.

Проходження через речовину легких частинок - електронів і позитронів – через їхні невеликі маси приводить до значного відхилення їх від первісного напрямку руху, а при зіткненнях може породжувати кванти електромагнітного випромінювання. Це випро-

мінювання називається *гальмівним*, а втрати енергії електрона на гальмівне випромінювання називаються *радіаційними*.

Інтенсивність гальмівного випромінювання, тобто кількість енергії, яка випромінюється секунду, для частки, що рухається з прискоренням, зворотно пропорційна квадрату маси частинки. Звідси випливає, що радіаційні втрати важливі тільки для електронів, але не для важких частинок. Радіаційні втрати лінійно зростають з енергією і починаючи з деякої критичної енергії $W_{кр}$ стають переважними. Ця енергія

$$W_{кр} \approx 800/Z \text{ MeV.} \quad (96.2)$$

(1 електронвольт – енергія $W = eU$, яку отримує електрон, що пройшов прискорюючу різницю потенціалів $U = 1 \text{ В}$: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$).

Розглянемо тепер питання про шлях, який проходить заряджена частинка в речовині. На рисунках 96.2 і 96.3 зображена залежність числа частинок n , що пройшли через шар речовини за 1 хвилину, від товщини шару x .

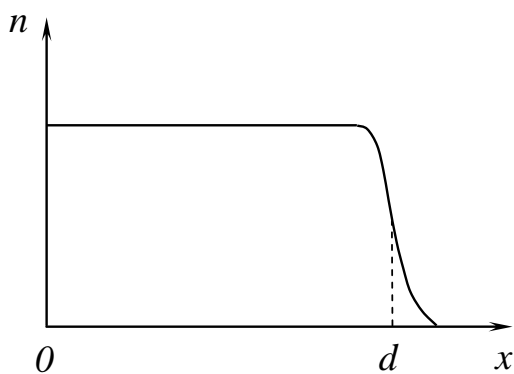


Рисунок 96.2

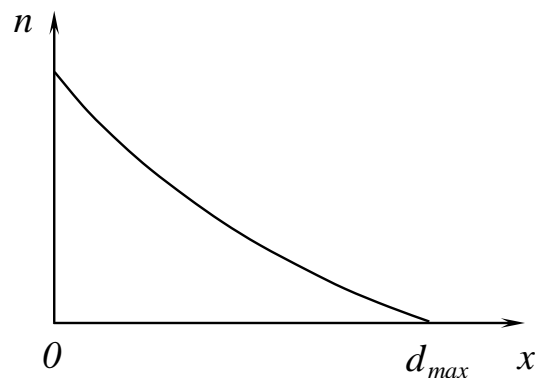


Рисунок 96.3

Для важких частинок (рисунок 96.2) крива цієї залежності спочатку йде горизонтально (всі частинки проходять шар наскрізь), а при товщині d , що дорівнює пробігу, різко спадає до нуля. Для електронів ця крива із збільшенням товщини шару спадає до нуля плавно (рисунок 96.3), оскільки шлях електрона в речовині – ламана крива і чим товще шар, тим складніше електрону пройти його по

прямій лінії. Тому для електронів вводять поняття максимального пробігу.

Макмальним пробігом називається мінімальна товщина шару речовини, в якому затримуються всі електрони. Очевидно, що максимальний пробіг збігається з довжиною криволінійного шляху, який електрон проходить в речовині.

Теоретично розрахувати максимальний пробіг R_{max} важко. Тому для оцінок зазвичай користуються таблицями та напівемпіричними формулами. Для моноенергетичних електронів з енергією $W < W_{кр}$ добре діє проста формула

$$R_{max} = \rho \cdot d_{max} = 0,526 W_{max} - 0,24, \quad (96.3)$$

де енергія W виражена в МеВ, а R_{max} - в $\text{г}/\text{см}^2$; d_{max} - товщина шару речовини, яка повністю затримує потік електронів.

Звідси можна знайти максимальну енергію β -частинок:

$$W_{max} = (R_{max} + 0,24) / 0,526. \quad (96.4)$$

Чисельне значення d_{max} знаходять екстраполяцією до осі X графіка залежності числа частинок, які пройшли через шар речовини від товщини цього шару x (див. малюнок 96.3).

Опис установки

Експериментальна установка зображена на рисунку 96.4. Вона складається з масивного циліндричного захисного корпусу, всередині якого розташовуються джерело β -частинок і датчик лічильника Гейгера. Зліва від нього знаходиться перерахунковий прилад ПП-16 і електричний секундомір з цифровою шкалою. На передній панелі приладу є кнопки управління і скляні газонаповне-



Рисунок 96.4

ні лампи зі сегментами, які світяться, і які показують кількість імпульсів. Права крайня показує одиниці імпульсів, наступна, яка розташована лівіше, – десятки, наступна – сотні, і т.д. Найлівіша показує сотні тисяч імпульсів. При відліку показання їх потрібно підсумовувати.



Захисний корпус установки можна переміщати по направляючим, відкриваючи і закриваючи джерело частинок і лічильник Гейгера. При проведенні вимірювань вони повинні бути закриті.

Цифровий секундомір має кнопки "Пуск" (червона) і "Скидання", при натисканні на яку його показання обнуляються.

Порядок виконання роботи

1 Увімкнути в мережу з напругою 220 В перерахункових прилад ПП-16 і електричний секундомір. На панелі приладу натиснути червону кнопку "Вкл".

2 Підготувати прилад для проведення вимірювань. Для цього:
– кнопкою "Сброс" обнулити показання лічильника;
– кнопки "Пуск", "Стоп", "Сброс", "Работа" привести у віджаний стан.

Кнопки "Вход":	1-а - натиснута "1:1"
	2-а  – віджата
	3-я  – натиснута

3 Виміряти за допомогою штангенциркуля товщину d_1 однієї з тонких алюмінієвих пластинок, помістити її між джерелом β -частинок і датчиком лічильника Гейгера і засунути захисний корпус установки.

4 Натиснути кнопку "Пуск" і одночасно увімкнути секундомір, утримуючи його червону кнопку. Через 60 секунд натиснути кнопку "Стоп" і вимкнути секундомір, відпустивши червону кнопку. Показання лічильника n і товщину пластинки d_1 занести в таблицю 96.1.

5 Кнопкою "Сброс" обнулити показання лічильника. Відповідною кнопкою обнулити показання секундоміра.

6 Виміряти товщину d_k ($k = 2, 3, 4, \dots$) ще однієї алюмінієвої пластинки і помістити її поряд з першою. Засунути захисний корпус установки.

7 Повторити дії, зазначені пп. 4 - 6, використовуючи алюмінієві пластинки, які залишились. У кожному наступному рядку таблиці вказувати сумарну товщину шару алюмінієвих пластинок.

$$x = d_1 + d_2 + d_3 + \dots$$

8 Використовуючи дані таблиці 96.1, побудувати на міліметровому папері графік залежності n (імп / хв) від товщини шару алюмінію x (мм).

9 Екстраполювати криву залежності $n = f(x)$ до перетину з віссю абсцис. Точка перетину дасть значення d_{max} – товщини шару алюмінію, який повністю затримує β -частинки.

10 За формулою (96.3) обчислити довжину пробігу β -частинок, а за формулою (96.4) – максимальне значення їх енергії.

11 Вимкнути живлення приладів і витягти алюмінієві пластинки, які розміщені між джерелом β -частинок і датчиком лічильника Гейгера.

12 Підготувати відповіді на наведені нижче контрольні питання.

Звіт про виконану роботу

1 Робочі формули для визначення відповідно довжини пробігу β -частинок в алюмінії та їх максимальної енергії:

$$R_{max} = \rho \cdot d_{max}, \quad [R] = \text{г/см}^2;$$
$$W_{max} = (R_{max} + 0,24) / 0,526, \quad [W] = \text{МеВ.}$$

2 Довідкові дані:

$$\text{густина алюмінію} \quad \rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

3 Результати експерименту

Таблиця 96.1

Номер досвіду	Сумарна товщина шару алюмінію x , мм	Число імпульсів, відлічених лічильником за 1 хв n , імп/хв	Товщина шару алюмінію, яка повністю затримує потік β -частинок d_{max} , мм	Довжина пробігу β -частинок в алюмінії R_{max} , г/см ²
1				
2				
3				
4				Максимальна енергія β -частинок W_{max} , МеВ
5				
6				
7				
8				

Контрольні питання

- 1 Опишіть будову атома і атомного ядра. Що таке нуклони?
- 2 Що називається радіоактивністю? Що таке стабільні і нестабільні ядра?
- 3 Що називається ізотопами?
- 4 Що таке позитрон?
- 5 Які види радіоактивного розпаду вам відомі? Що таке період напіврозпаду ядер атомів?
- 6 Опишіть будову та принцип дії лічильника Гейгера.

7 Які фізичні величини характеризують проходження заряджених частинок через шар речовини?

8 Що таке іонізаційні і радіаційні втрати енергії частинок в речовині? Які з них переважають для важких і легких частинок?

9 Що називається максимальним пробігом електронів в речовині?

10 Дайте визначення електронвольта – одиниці вимірювання енергії мікрочастинок.

Література

- 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.