

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 54

**ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОНА
МЕТОДОМ МАГНЕТРОНА**

Роботу виконав: студент(ка)

(прізвище, ім'я, по-батькові)

(курс)

(група)

» » _____ 200 р.

Роботу прийняв:

(прізвище та ініціали викладача)

(посада)

Оцінка:

за знання теорії

(оцінка, бал)

за провед. експер.

(оцінка, бал)

підсумкова

(оцінка, бал)

(дата і підпис викладача)

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 54

Визначення питомого заряду електрона методом магнетрона

Мета роботи: вивчення закономірностей руху заряджених частинок в магнітному полі і визначення питомого заряду електрона.

Прилади й матеріали: лабораторна установка для визначення питомого заряду електрона методом магнетрона

Теоретичні відомості

Питомим зарядом частинки називається відношення електричного заряду частинки до її маси. Одиницею вимірювання питомого заряду в системі СІ є Кл/кг.

Якщо заряджена частинка рухається в однорідному магнітному полі перпендикулярно напрямку поля, то її траєкторія являє собою коло. На заряджену частинку в магнітному полі діє сила Лоренца, що дорівнює

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

В (1) q є величина електричного заряду частинки, \vec{v} - її швидкість, \vec{B} - магнітна індукція. Сила Лоренца є доцентровою силою. Радіус кола можна знайти, якщо прирівняти добуток маси частинки на доцентрове прискорення і силу Лоренца

$$ma = m \frac{v^2}{R} = qvB \quad (2)$$

В (2) взято до уваги, що $\vec{v} \perp \vec{B}$. Тож, радіус кола R дорівнює

$$R = \frac{mv}{Bq} \quad (3)$$

Вимірюючи R , можна знайти питомий заряд q/m .

Магнетрон є пристрій, який застосовується для генерації електромагнітних хвиль надвисокої частоти. Зокрема, магнетрон є основним елементом побутових НВЧ-печей, які використовують енергію електромагнітних хвиль для приготування їжі. В магнетроні електромагнітні хвилі випромінюються електронами, які рухаються у схрещених електричному і магнітному полях. Електрони в магнетроні рухаються по траєкторіям близьким до колових. Радіуси кривизни траєкторій електронів, як і у випадку (3), обернено пропорційні питомому заряду електрона.

Метод магнетрона полягає в дослідженні залежності електричного струму в двохелектродній лампі а з циліндричним анодом, та розташованим на його осі катодом, від величини зовнішнього магнітного поля. В такій лампі, яка поміщена всередину соленоїда, вісь симетрії якого співпадає з катодом, електрони рухаються таким же чином, як і у магнетроні. За відсутності магнітного поля електрони, що вилітають з катода, під дією електричного поля рухаються по радіусу (Рис. 1, траєкторія а). Вмикання магнітного поля приводить до викривлення траєкторій під дією сили Лоренца: (траєкторія б). Чим більша магнітна індукція B , тим менший радіус кривизни траєкторії. При певному значенні магнітної індукції, яка називається критичною $B_{кр}$, траєкторії стають замкненими (траєкторія в), і електрони перестають попадати на анод, внаслідок чого анодний струм різко

зменшується. Подальше збільшення поля приводить до ще більшого зменшення радіуса траєкторії і анодний струм зникає.

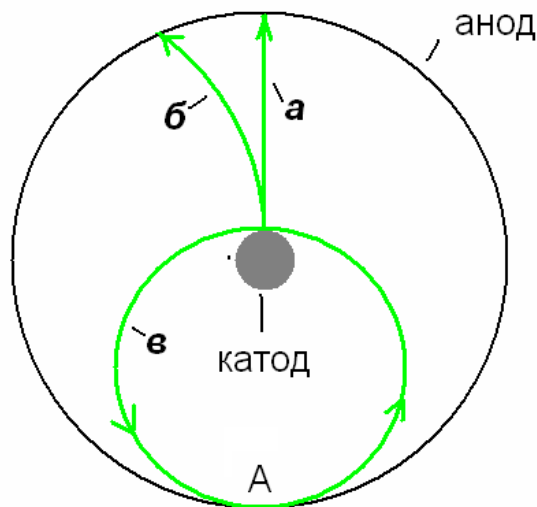


Рис.1. Схема руху електронів в двохелектродній лампі

Робочі формули

Рух електрона будемо описувати у циліндричних координатах r, φ (r - відстань електрона від катоду, φ - кут, на який обертається радіус-вектор електрона (начало координат співпадає з катодом). Розглянемо траєкторію в. Швидкість електрона можна розкласти на радіальну (паралельну радіусу) і тангенціальну (перпендикулярну радіусу) компоненти $\vec{v} = \vec{v}_r + \vec{v}_\tau$, де $v_r = dr/dt$ і $v_\tau = r d\varphi/dt = r\omega$ (ω є кутова швидкість). В точці А максимальної відстані r_{\max} електрона від катоду його радіальна швидкість дорівнює нулю. Тож в точці А $v = r_{\max} \omega$. Оскільки магнітна складова сили Лоренца не виконує роботи, кінетична енергія електрона дорівнює роботі електростатичного поля. В точці А

$$eU = \frac{mv^2}{2} = \frac{mr_{\max}^2 \omega^2}{2} \quad (4)$$

де U - електростатичний потенціал в точці А. Для визначення кутової швидкості ω запишемо основне рівняння динаміки обертального руху.

$$\frac{d}{dt}(J\omega) = M \quad (5)$$

де M - момент сили, що діє на електрон (відносно осі, що співпадає з катодом), і $J = mr^2$ - момент інерції електрону. Сила, що діє на електрон дорівнює

$$\vec{F} = -e\vec{E} - e\vec{v} \times \vec{B}$$

В даному випадку момент електростатичної компоненти сили дорівнює нулю (плече сили дорівнює нулю). В момент дає внесок тільки тангенціальна (перпендикулярна радіуса) компонента магнітної складової сили Лоренца. Ця

компонента дорівнює $F_{L,\perp} = ev_r B$. Плече цієї компоненти сили є r . Таким чином, момент сили дорівнює

$$M = ev_r Br = eBr \frac{dr}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{eBr^2}{2} \right) \quad (6)$$

З (5) і (6) випливає, що

$$\frac{d}{dt} (mr^2 \omega) = \frac{d}{dt} \left(\frac{eBr^2}{2} \right) \quad (7)$$

і

$$mr^2 \omega = \frac{eBr^2}{2} + const \quad (8)$$

Константа $const$ підлягає визначенню. Оскільки рівняння (8) виконується в усіх точках траєкторії, в тому числі, в точці $r=0$. то $const=0$. Підставляючи в (8) $const=0$ і скорочуючи r^2 , маємо

$$\omega = \frac{eB}{2m} \quad (9)$$

Підставляючи (9) в (4), знаходимо

$$U = \frac{e}{m} \frac{B^2 r_{\max}^2}{8} \quad (10)$$

Траєкторія дотикається анода, коли $r_{\max} = R_a$ (R_a - радіус анода). При цьому, U дорівнює напрузі між катодом і анодом. З (10) випливає наступна формула для визначення питомого заряду

$$\frac{e}{m} = \frac{8U}{B_{кр}^2 R_a^2} \quad (11)$$

Критичну магнітну індукцію будемо розраховувати за допомогою формули для нескінченно довгого соленоїда:

$$B_{кр} = \frac{\mu_0 I_{кр} \cdot N}{l} \quad (12)$$

де N - число витків соленоїда, l - його довжина, $I_{кр}$ - значення сили струму в соленоїді в точці перегину кривої залежності анодного струму I_a від струму в соленоїді I_c , $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна стала.

Опис установки

Установка зображена на рис 2. Обмотка соленоїда С живиться від джерела постійного струму напругою 50 В. Струм в соленоїді вимірюється амперметром А1, силу струму змінюють за допомогою реостата R зі змінним опором. Анодна напруга подається від універсального джерела живлення. Величина напруги контролюється вольтметром В за допомогою потенціометра П. Двохелектродна лампа розташована всередині соленоїда. Анодний струм вимірюється амперметром А2

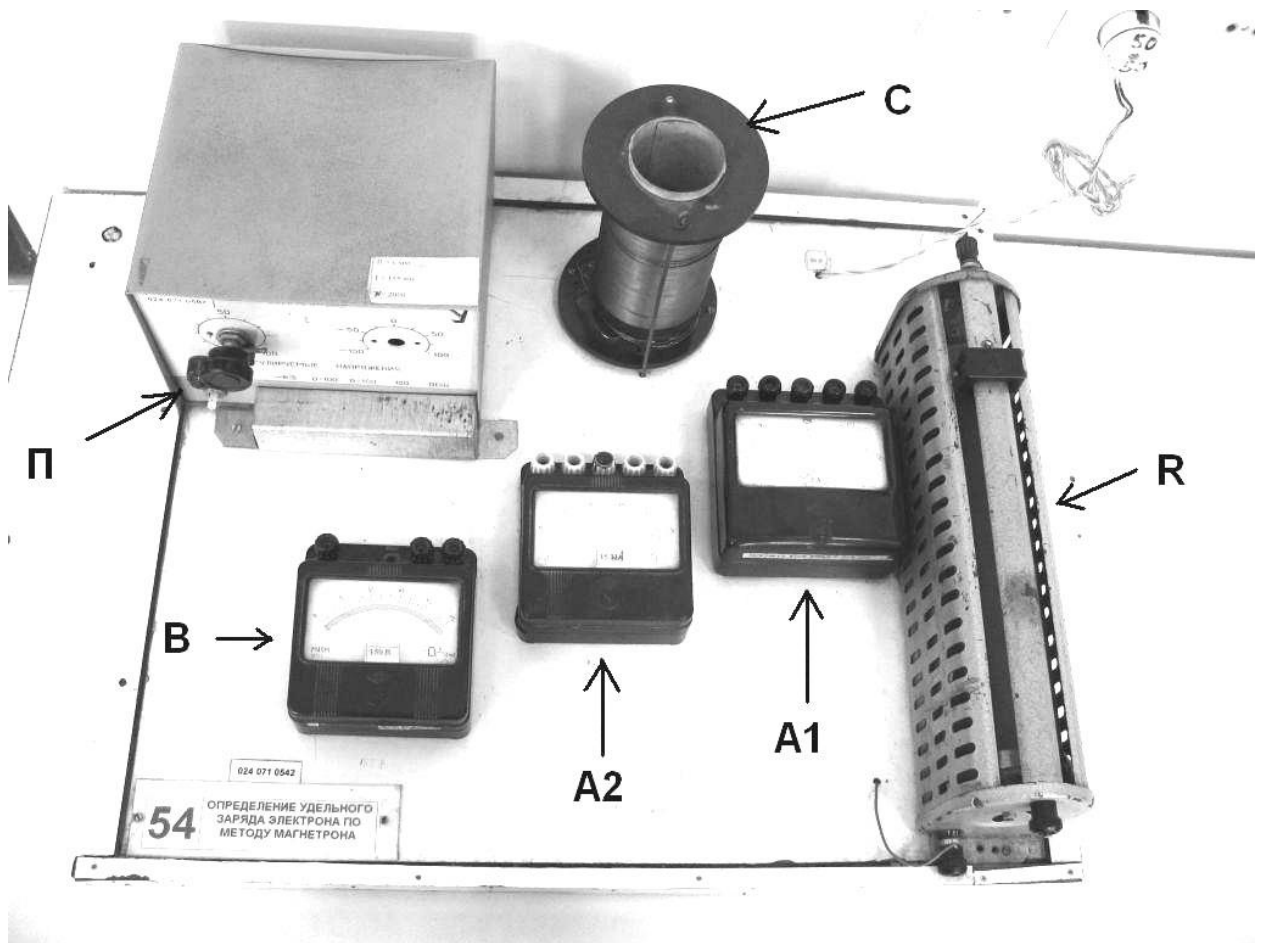


Рис. 2. Лабораторна установка.

Послідовність виконання роботи

1. Встановити за допомогою потенціометра П напругу між анодом і катодом $U=90$ В.
2. Виміряти значення анодного струму I_a для наступних значень струму соленоїда ($I_c = 0, 0,2$ А; 0,4А; 0,6А; 0,65А; 0,7А; 0,75А; 0,8А; 1,0А; 1,2 А; 1,4 А). У процесі роботи підтримувати постійну анодну напругу. Значення струму соленоїда та відповідне йому значенні I_a анодного струму записати у вигляді таблиці.
4. На підставі цих даних побудувати графік залежності струму I_a від струму в соленоїді I_c . Визначити з графіка значення струму в соленоїді $I_{кр}$, що відповідає точці перегину кривої $I_a(I_c)$.
5. За формулою (12) розрахувати величину критичної напруженості $B_{кр}$.
6. За формулою (11) визначити питомий заряд електрона e/m .
7. Розрахувати відносну і абсолютну похибку.

Звіт про виконану роботу

1. Робочі формули для визначення критичного магнітного поля i і питомого заряду.

$$B_{кр} =$$

$$\frac{e}{m} =$$

2. Дані, що приведені на панелі установки.

Число витків соленоїда $N =$

Довжина соленоїда $l =$ (м)

Радіус анода $R_a =$ (м)

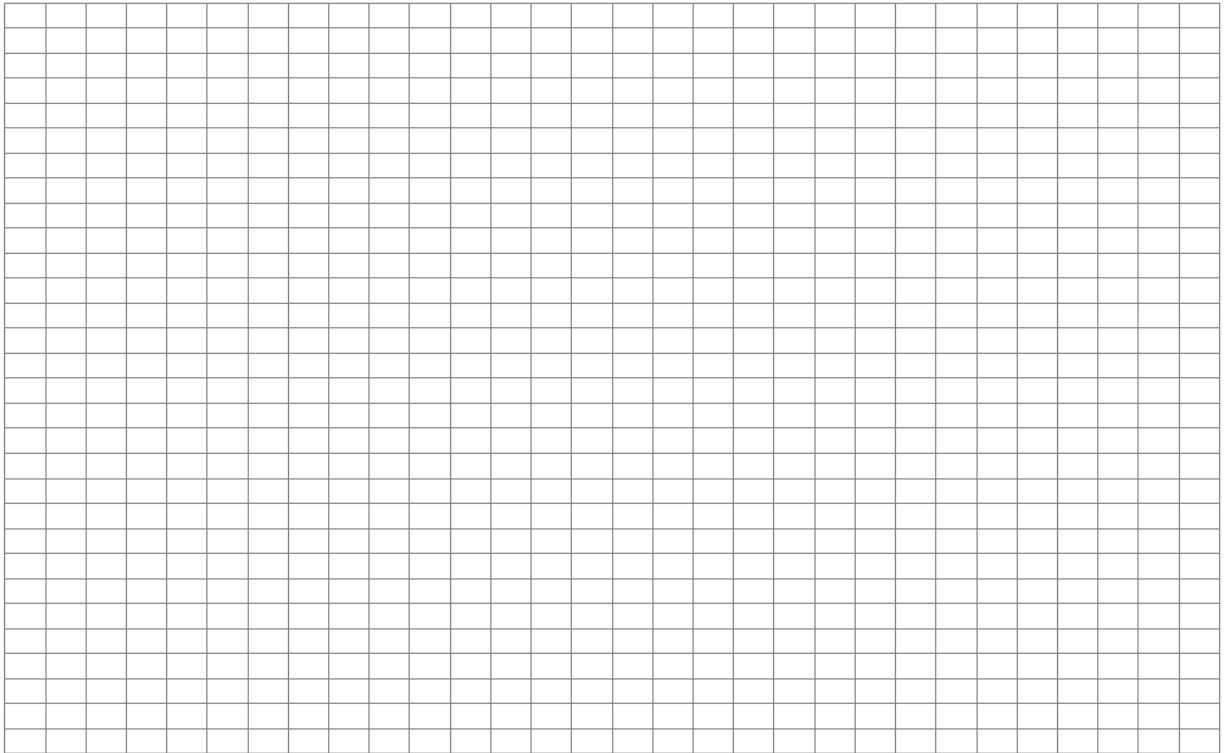
3. Значення напруги між катодом і анодом, що підтримується сталим під час вимірювань.

$U =$ (В)

4. Результати експерименту.

I_c, A	I_a, A
0	
0,2	
0,4	
0,6	
0,65	
0,7	
0,75	
0,8	
1,0	
1,2	
1,4	

5. Графік залежності $I_a(I_c)$



6. Значення струму I_c в точці перегину кривої.

$$I_{кр} = \quad (\text{A})$$

7. Розрахунок критичної магнітної індукції і питомого заряду.

$$B_{кр} =$$

$$\frac{e}{m} =$$

8. Визначення відносної і абсолютної похибки.

Згідно з (11) $\frac{\Delta(e/m)}{e/m} = \frac{\Delta U}{U} + 2 \frac{\Delta B_{кр}}{B_{кр}}$. Згідно з (12) $\frac{\Delta B_{кр}}{B_{кр}} = \frac{\Delta I_{кр}}{I_{кр}}$.

Таким чином, похибка розраховується за формулою

$$\frac{\Delta(e/m)}{e/m} = \frac{\Delta U}{U} + 2 \frac{\Delta I_{кр}}{I_{кр}}$$

ΔU і $\Delta I_{кр}$ визначаються класом точності вимірювальних приладів і діапазоном вимірювання.

$$n_u = \quad U_{\max} =$$

$$n_I = \quad I_{\max} =$$

$$\Delta U = \frac{n_u U_{\max}}{100} =$$

$$\Delta I_{кр} = \frac{n_I I_{\max}}{100} =$$

$$\frac{\Delta(e/m)}{e/m} =$$

$$\text{Відносна похибка } \varepsilon = \frac{\Delta(e/m)}{e/m} \cdot 100\% =$$

$$\text{Абсолютна похибка } \Delta(e/m) = \frac{\varepsilon}{100\%} \frac{e}{m} =$$

Контрольні запитання

1. Що називається питомим зарядом електрона? В яких одиницях за системою СІ вимірюється питомий заряд?
2. Що таке магнітна компонента сила Лоренца? Записати формулу для магнітної компоненти сили Лоренца в скалярній і векторній формах.
3. Як направлена магнітна компонента сили Лоренца відносна напрямку магнітної індукції, швидкості зарядженої частинки?
4. Швидкість зарядженої частинки перпендикулярна магнітному полі. По якій траєкторії рухається частинка? Швидкість зарядженої частинки направлена під гострим чи тупим кутом до магнітного поля. По якій траєкторії рухається частинка?
5. Записати формулу для радіусу окружності, по якій рухається заряджена частинка в магнітному полі. Як зміниться радіус окружності, по якій рухається заряджена частинка в магнітному полі, якщо збільшиться величина магнітної індукції, збільшиться маса частинки, збільшиться швидкість частинки?
6. Знайти період обертання зарядженої частинки по окружності в магнітному полі.
7. Що таке магнетрон? Для чого він використовується? Яку роль відіграє в роботі магнетрона сила Лоренца?
8. Що таке мас-спектрометр? Для чого він використовується? Яку роль відіграє в роботі мас-спектрометра сила Лоренца?
9. Що таке циклотрон? Для чого він використовується? Яку роль відіграє в роботі циклотрона сила Лоренца?