

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фізико-математичний факультет

Лабораторна робота № 2-9

**ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ЗАРЯДУ
ЕЛЕКТРОНА МЕТОДОМ МАГНЕТРОНА**

Виконана студ. групи _____

Визначення питомого заряду електрона методом магнетрона

Мета роботи: визначити відношення заряду електрона e до його маси, використовуючи закони руху електрона у взаємно перпендикулярних асиметричних електричному та магнітному полях.

Прилади та пристрої: вакуумний діод із циліндричним анодом, соленоїд, мікроамперметр типу М 906, джерело струму типу УИП-2, стабілізатор живлення розігріву діода, резистор.

Теоретичні відомості

Визначення відношення заряду електрона до його маси e/m , яке називають питомим зарядом, у даній роботі проводиться методом магнетрона. Така назва зумовлена використанням електровакуумного приладу – магнетрона, котрий використовується для генерації електромагнітних хвиль у надвисокочастотному діапазоні. Метод запозичує у магнетрона конфігурацію магнітного та електричного полів.

Електрони, що вилітають у результаті термоелектронної емісії з розігрітого катода, рухаються у просторі між катодом і анодом (коаксіальні електроди). Завдяки такій формі і розміщенню електродів, електричне поле E в міжелектродному просторі -

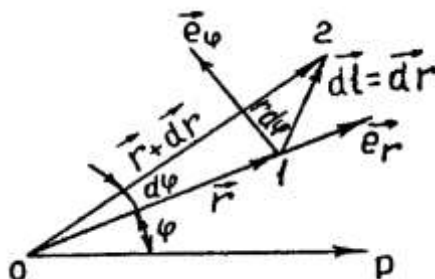


Рис. 9.1

Рух електрона в площині (r, φ) з точки 1 в точку 2 зручно описати, якщо скористатися рівнянням моментів (див.п.5.1.2):

$$\frac{dL}{dt} = [\vec{r}, q\vec{E}] + [\vec{r}, q[\vec{v}, \vec{B}]], \quad (9.1)$$

де $q = -e$ – заряд електрона, v – його швидкість.

Спроекуємо рівняння (9.1) на вісь z , напрямлену вздовж осі катода. Одержимо:

$$\frac{d(mr^2\dot{\varphi})}{dt} = eBrr. \quad (9.2)$$

При визначенні проєкцій окремих складових рівняння (9.1) на вісь, було взято до уваги, що $L_z = I_z\omega$, де $I_z = mr^2$ – момент інерції електрона відносно осі z . Очевидно, що $[\vec{r}, q\vec{E}] = 0$. Складнішим виявляється визначення другої складової рівняння

(9.1), яка є подвійним векторним добутком. (Визначення цієї проекції див. у Додатку). Проінтегруємо рівняння (9.2) за часом:

$$m r^2 \dot{\varphi} + C = \frac{1}{2} e B r^2. \quad (9.3)$$

Стала інтегрування C може бути знайдена з початкових умов. Радіус катода r_k – величина мала, тому на початку рух електрона r – малий, невелика і його швидкість v , а звідси – й величина $\dot{\varphi}$. Це дозволяє припустити для початкового моменту часу, що $r = 0$. Тоді стала інтегрування в рівнянні (9.3) буде рівна нулю. Звідси одержуємо:

$$\omega = \dot{\varphi} = \frac{eB}{2m}. \quad (9.4)$$

Таким чином, кутова швидкість обертання електрона лінійно залежить від B і при заданій індукції магнітного поля є величиною сталою. Наявність кутової швидкості $\dot{\varphi}$ обертання електронів свідчить про викривлення їхньої траєкторії магнітним полем. На рис. 9.2 зображено приблизний вигляд траєкторії електрона, яка у загальному випадку є кривою зі змінною кривиною, і ця кривина збільшується із наближенням до анода.

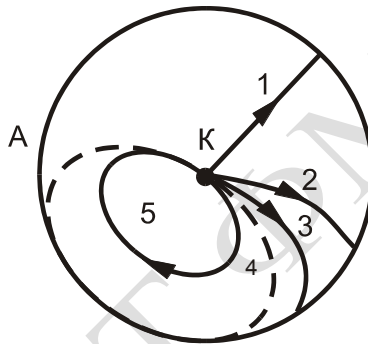


Рис. 9.2

Чим сильніше магнітне поле, тим більше викривлюється траєкторія електронів. За умови $B = 0$ траєкторія – пряма лінія (1 на рис. 9.2). У слабкому полі траєкторія дещо викривлюється, але електрон все-таки досягає анода (криві 2, 3). При деяких критичних значеннях індукції магнітного поля $B_{кр}$ траєкторія викривлюється настільки, що у найвіддаленішій від катода точці лише дотикається до анода (крива 4); нарешті, у випадках, коли $B > B_{кр}$, електрон зовсім не потрапляє на анод і повертається до катода (крива 5). Струм діода за умови $B = B_{кр}$ починає різко зменшуватися.

Індукцію критичного поля $B_{кр}$ можна знайти, якщо брати до уваги, що при умові $B = B_{кр}$ радіальна складова швидкості електрона у точці $r = r_a$ (r_a – радіус анода) перетворюється на нуль. У цій точці є тільки тангенціальна складова швидкості:

$$v_r = v = r_a \dot{\varphi}. \quad (9.5)$$

Магнітне поле не здійснює роботи над електроном, тому робота переміщення електрона від катода до анода дорівнює кінетичній енергії електрона. Початковою швидкістю електронів, що вилітають із катода, нехтуємо:

$$eU = \frac{m v^2}{2}, \quad (9.6)$$

де U – різниця потенціалів між катодом і анодом.

Підставивши у (9.6) вирази v та $\dot{\varphi}$ з формул (9.4) та (9.5), дістанемо:

$$U = \frac{1}{8} r_a^2 B_{кр}^2 \frac{e}{m}. \quad (9.7)$$

Індукцію магнітного поля всередині соленоїда зв'язана із силою струму I_c , що протікає через соленоїд:

$$B = \mu_0 n I; \quad B_{кр} = \mu_0 n I_{кр},$$

де n – кількість витків на одиницю довжини соленоїда.

Ураховуючи останнє співвідношення, вираз (9.7) можна переписати так

$$kU = \frac{e}{m} I_{кр}^2, \quad (9.8)$$

де

$$k = \frac{8}{\mu_0^2 n^2 r_a^2}. \quad (9.9)$$

Рівняння (9.8) дозволяє обчислити відношення (e/m) . Для цього побудуємо графік залежності kU від $I_{кр}^2$. Ця залежність є прямою лінією, тангенс кута нахилу якої до осі $I_{кр}^2$ дає відношення (e/m) .

Опис реальної експериментальної установки

Принципову електричну схему експериментальної установки зображено на рис. 9.3, де D – діод; L – соленоїд, μA – мікроамперметр – прилад для вимірювання анодного струму; V – вольтметр для вимірювання анодної напруги U ; $R_{ш}$ – регулюючий шунт; R_1 – опір, що симетризує потенціал нитки розжарення; R_2, R_3 – подільники анодної напруги.

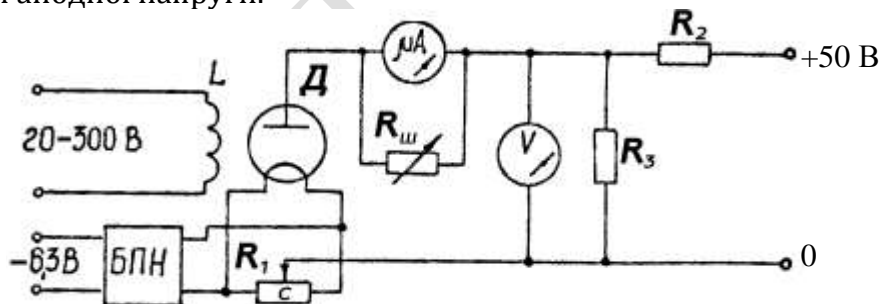


Рис. 9.3

Живлення установки здійснюється від джерела живлення УІП-2. Нитка розжарення діода живиться від виходу "6,3 В" через блок стабілізації БПН, що захищає її від перевантажень. Середня точка кола живлення C приєднана до мінуса джерела анодної напруги. Анодне коло живиться від виходу "0-50 В", напругу виходу можна плавно регулювати потенціометром на блоці живлення. Оскільки використовується діапазон анодної напруги 0-25 В, то на вході встановлюють подільник напруги R_2, R_3 , щоб уберегти установку від перевантажень. Ручку регулювального шунта мікроамперметра, яким вимірюється анодний струм, виведено на передню панель установки.

Обмотка соленоїда живиться від виходу "20-300 В" блока живлення. Сила струму соленоїда вимірюється міліамперметром панелі УІП або приладом, вмонтованим в експериментальний блок.

Струм соленоїда можна змінювати, регулюючи напругу на виході блока живлення.

Порядок виконання роботи

1. Перед початком роботи у крайню ліву позицію встановити потенціометри, які регулюють напругу виходів "20-300 В" і "0-50 В" УИПа. Встановити в середню позицію ручку регулювального шунта мікроамперметра.
2. Увімкнути УИП до мережі та дати прогрітися впродовж 3...5 хв.
3. За допомогою потенціометра встановити анодну напругу в межах робочого діапазону "5-25 В". Обертаючи ручку регулювального шунта, домогтися, щоб стрілка мікроамперметра, що вимірює анодний струм I_a , знаходилася в останній третині шкали (за умови $I_c = 0$). Занести значення U та I_a (I_a вимірюється в поділках шкали приладу) до табл. 9.1.
4. Ручкою регулювання виходу "20-300 В" збільшувати струм соленоїда I_c з кроком 10 мА і стежити одночасно за силою анодного струму I_a . Значення величин I_c та I_a занести у табл. 9.1. Струм соленоїда збільшувати до досягнення критичного режиму, тобто домогтися значного зменшення анодного струму зі збільшенням струму соленоїда.
5. Наведені в пп. 3, 4 вимірювання провести 6-8 разів з різними значеннями анодної напруги в інтервалі "5-25 В". Для кожного значення U встановити, використовуючи регулювальний шунт, стрілку мікроамперметра в останній третині шкали (при $I_c = 0$).

Обробка результатів вимірювань

1. Побудувати графік залежності $I_a = f(I_c)$ для різних значень U . Оскільки у електронів, що вилітають з катода, є деяка початкова швидкість, а також має місце розкид електронів за швидкостями, то залежність (характеристика спаду) не буде такою стрімкою, як це впливає з теорії і як зображено на рис. 9.4 пунктирною лінією. Критичні умови досягатимуться для різних електронів неодноразом, і це призведе до більш плавного спадання струму суцільна лінія на рис. 9.4). Ця і деякі інші причини, наприклад, некоаксіальність анода та катода, призводять до додаткового згладжування кривої, що утруднює точне визначення $I_{кр}$.

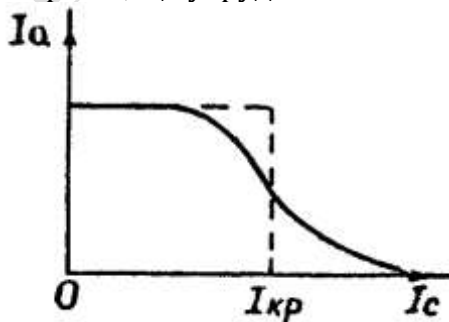


Рис. 9.4

2. Користуючись побудованими залежностями $I_a = f(I_c)$, визначити критичні струми соленоїда $I_{кр}$, які дорівнюють силі струму соленоїда I_c в точці найбільшої крутизни спаду струму I_a . Знайдені значення $I_{кр}$ та відповідні значення U занести до табл. 9.2.
3. Розрахувати й занести до табл. 9.2. значення kU . Для визначення k скористатися даними табл. 9.3. Значення r_a і n взяти з паспорта установки.
4. Побудувати графік залежностей kU від $I_{кр}^2$, що повинен мати вигляд прямої лінії, з обох боків якої знаходяться експериментальні точки. Тангенс кута нахилу цієї прямої дасть величину $\langle e/m \rangle$.

5. Порівняти одержане значення $\langle e/m \rangle$ з табличним значенням (e/m) для електрона і визначити відносну похибку вимірювання.

Табл.9.1

$U_1 =$		$U_2 =$		$U_3 =$		$U_4 =$		$U_5 =$		$U_6 =$		$U_7 =$		$U_8 =$	
$I_a,$ под	$I_c,$ А	$I_a,$ под	$I_c,$ А	$I_a,$ под	$I_c,$ А	$I_a,$ под	$I_c,$ А	$I_a,$ под	$I_c,$ А	$I_a,$ под	$I_c,$ А	$I_a,$ под	$I_c,$ А	$I_a,$ под	$I_c,$ А

Табл. 9.2

№	$U, В$	$I_{кр}, МА$	$kU, \frac{А^2 \cdot Кл}{кг}$	$I_{кр}^2, МА^2$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Табл.9.3

Визначення коефіцієнта k	
$\mu_0, \frac{Гн}{м} = \dots\dots\dots$ $n, \frac{1}{м} = \dots\dots\dots$ $r_a, м = \dots\dots\dots$	$k = \frac{8}{\mu_0^2 n^2 r_a^2} \dots\dots\dots$

Контрольні запитання

1. Що таке сила Лоренца? Поясніть магнетизм як релятивістський ефект.



