

**Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

*Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
з розділу
„Електродинаміка” (частина перша)
загального курсу фізики*

**Дніпропетровськ
НГУ
2007**

Матеріали методичного забезпечення дисципліни “Фізика” для студентів усіх спеціальностей. / Укладачі: А.В. Чернай, Л.І. Барташевська, А.С. Зайцев, В.М. Мандрікевич, – Д.: НГУ, 2007.– 43 с.

Укладачі:

Кандидати фіз.-мат. наук

Л.І. Барташевська;

А.С. Зайцев.

Старші викладачі

В.М. Мандрікевич;

Т.В. Морозова.

Д-р фіз.-мат. наук, професор

А.В. Чернай.

Усі укладачі приймали участь в розробці методичних вказівок до лабораторних робіт та удосконаленні їх макетів.

Затверджено методичною комісією з напряму підготовки 8.092204 №3 від 19.12.06 р. за поданням кафедри фізики (протокол № 4 від 6.12 2006 р.)

Відповідальний за випуск: завідувач кафедрою фізики, канд.фіз.-мат., наук, проф. І.П. Гаркуша.

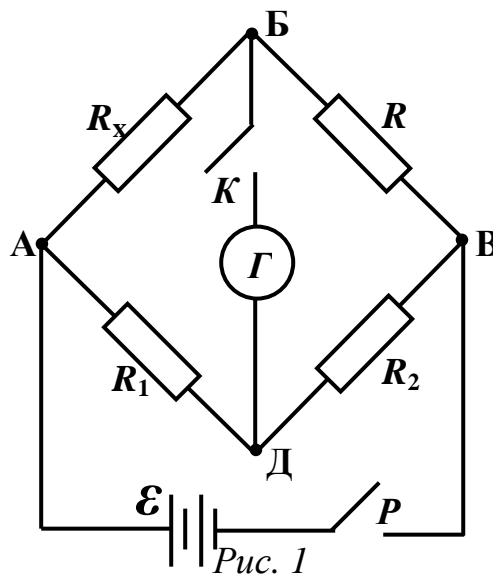
Вимірювання опору методом містка

Прилади і приладдя: 1) макет лабораторної установки; 2) джерело живлення.

Мета роботи: 1) вивчення законів постійного струму, 2) вимір опору містком.

Опис приладу і теоретичні відомості

Схема містка являє собою чотирикутник опорів. В одну діагональ цього чотирикутника увімкнено джерело живлення, в іншу – гальванометр. Остання діагональ і називається містком. На рис.1 наведена принципова схема вимірювань. Суть роботи полягає в тому, що, знаючи три опори R , R_1 , R_2 , можна визначити четвертий R_x .



При замиканні ключа P і кнопки K у діагоналі $БД$ з'явиться струм, напрям якого залежить від того, яка з точок ($Б$ або $Д$) знаходиться під більшим потенціалом. При заданих опорах R_1 і R_2 опір R можна підібрати таким, що потенціали точок $Б$ і $Д$ будуть рівними. Якщо потенціали точок $Б$ і $Д$ рівні, то різниця потенціалів $\varphi_B - \varphi_D = 0$, а значить і струм через місток буде відсутній. При цьому струм I буде розгалужуватися на два струми I_1 і I_2 , які відповідно протікають по ділянках $АДВ$ і $АБВ$. Різниця потенціалів на ділянці кола $АД$ $U_{АД} = I_1 R_1$ дорівнює різниці потенціалів на участку $АБ$ $U_{АБ} = I_2 R_x$ або

$$I_1 R_1 = I_2 R_x. \quad (1)$$

Для ділянок $ДВ$ і $БВ$:

$$I_1 R_2 = I_2 R. \quad (2)$$

Розділивши вираз (1) на (2), одержимо:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R} \text{ або } R_x = \frac{R_1}{R_2} R. \quad (3)$$

Для зручності вимірів на практиці часто ділянки AD і DB замінюють реохордом. Реохорд являє собою калібрований дріт, натягнутий уздовж лінійки AB (рис. 2).

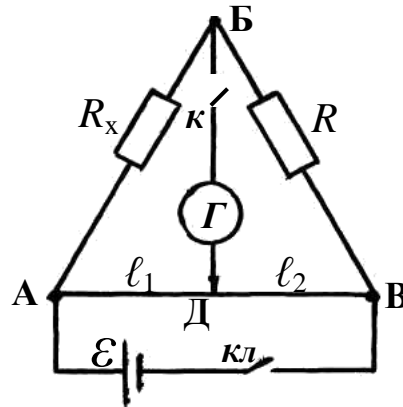


Рис. 2

На лінійці є міліметрова шкала і рухомий контакт D . У даному випадку опори R_1 і R_2 представляють опори ділянок AD і DB дроту реохорда. Їх можна виразити через довжину і переріз провідника за формулами:

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{S}; \quad R_2 = \rho \frac{l_2}{S}, \quad (4)$$

де ρ – питомий опір матеріалу дроту.

Тоді відношення $\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2}$ і формула (3) прийме вигляд

$$R_x = \frac{l_1}{l_2} R. \quad (5)$$

Вимірювання

1. Зібрати коло відповідно до схеми (рис. 2) і після її перевірки викладачем замкнути коло ключем.

2. Поставивши повзунк D у середнє положення, підібрати у магазині такий опір R , при якому після замикання кнопки K стрілка гальванометра не буде відхилятися. Це означає, що на ділянці BD струм дорівнює нулю. Якщо за допомогою магазину опору цілком зрівноважити міст не можна, то остаточно його врівноважують шляхом незначного пересування повзунка D в ту або іншу сторону.

3. У таблицю записати величину опору R і довжини пліч l_1 і l_2 реохорда.

4. Задаючи значення опору в магазині R , що відрізняються від первісного на 10 – 20 %, домагаються за допомогою реохорда балансу містка. Значення R , l_1 , l_2 , отримані при цьому, заносять у таблицю.

5. Виміривши опір одного резистора R_{x1} три рази, переходять до виміру

опору іншого резистора R_{x_2} .

6. Після цього визначають опори послідовно і паралельно з'єднаних резисторів R_{x_1} і R_{x_2} .

7. За формулою (5) визначити усі значення R_x та занести їх у таблицю.

За середніми значеннями $\langle R_{x_1} \rangle$ і $\langle R_{x_2} \rangle$ розрахувати $R_{\text{посл}}$ і $R_{\text{парал}}$ за формулами:

$$R_{\text{посл}}^{\text{теор}} = \langle R_1 \rangle + \langle R_2 \rangle; R_{\text{парал}}^{\text{теор}} = \frac{\langle R_1 \rangle \langle R_2 \rangle}{\langle R_1 \rangle + \langle R_2 \rangle} \quad (6)$$

і порівняти їх з вимірними.

Таблиця

№	Опір	Результати вимірів			R_{x_i} Ом	$\langle R_x \rangle$ Ом	ΔR_{x_i} Ом	$\Delta R_{x_i}^2$, Ом	$S \langle R_x \rangle$ Ом	α	$t_{\alpha, n}$	ΔR_x Ом	E , %
		l_1	l_2	R									
1 2 3	R_{x_1}												
1 2 3	R_{x_2}												
1 2 3	Послідовне з'єднання												
1 2 3	Паралельне з'єднання												

Остаточний результат записати у вигляді:

$$R_{x_1} = \left(\langle R_{x_1} \rangle \pm \Delta R_{x_1} \right) \text{ Ом при } \alpha = \quad ;$$

$$R_{x_2} = \left(\langle R_{x_2} \rangle \pm \Delta R_{x_2} \right) \text{ Ом при } \alpha = \quad ;$$

Контрольні питання

1. Пояснити роботу потенціометра (дільника напруги).
2. Як залежить від температури опір металевих провідників?
3. Сформулювати закон Ома для однорідного кола.
4. Яка фізична величина називається різницею потенціалів?
5. Яка фізична величина називається напругою?

6. Яка фізична величина називається ЕРС?
7. При якому положенні повзунка точність виміру мостиковою схемою максимальна?
8. Чи зміниться робота мостика, якщо поміняти місцями джерело струму і гальванометр?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельєв І.В. Курс общей фізики. – М.: Наука, 1997.- Т.2, 4.1, гл.5.

Лабораторна робота 3.31

Вимірювання електрорушійної сили методом компенсації

Прилади і приладдя: 1) макет лабораторної установки; 2) джерело живлення.

Мета роботи: 1) вивчення законів постійного струму; 2) вимір ЕРС методом компенсації.

Опис приладу і теоретичні відомості

При переміщенні заряду в електростатичному полі сили поля виконують роботу. Величина, що чисельно дорівнює роботі електростатичних сил по переміщенню одиничного позитивного заряду (питома робота) з однієї точки поля в іншу, називається *різницею потенціалів* між цими точками.

Під дією електростатичних сил позитивний заряд переміщується від точок з вищим до точок з нижчим потенціалом. Електричні заряди можуть переміщатися і під дією сил не електростатичного походження, які називаються *сторонніми силами*. Такі сили діють, наприклад, у гальванічних елементах, акумуляторах, динамо-машинах. Під дією сторонніх сил позитивні заряди переміщуються від точок з нижчим потенціалом до точок з вищим потенціалом. Величина, яка чисельно дорівнює питомій роботі сторонніх сил, що діють у якому-небудь контурі, називається *електрорушійною силою* (ЕРС).

Для точних вимірів ЕРС джерел застосовується *метод компенсації*. Суть його полягає в наступному. Збирають схему згідно з рис. 1, де ε_x – досліджуваний гальванічний елемент з невідомою ЕРС; ε – акумулятор з ЕРС, більшою ніж ε_x ; ε_n – нормальний елемент, ЕРС якого відома. K_n – кнопка; P – ключ; Π – перемикач.

Якщо набрати в магазинах M_1 і M_2 деякі опори R_1 й R_2 і замкнути коло ключем P , то по верхній замкнутій частині схеми буде протікати струм. При цьому за законом Ома:

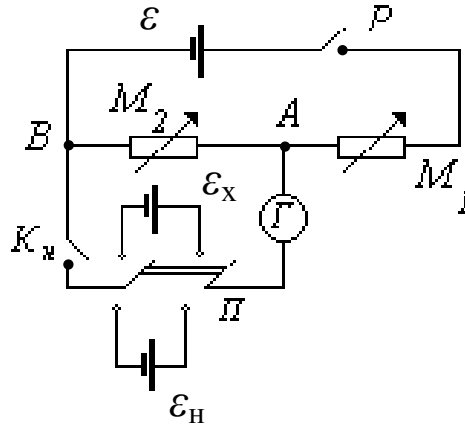


Рис. 1

$$\varepsilon = IR_1 + IR_2 + Ir. \quad (1)$$

Якщо тепер перемикачем Π включити в схему досліджуване джерело ε_x , яке дає струм у колі гальванометра назустріч струму, що дається акумулятором, то величина струму через гальванометр буде залежати від падіння напруги $U_2 = IR_2$ на ділянці AB . Змінюючи опір R_2 цієї ділянки, можна домогтися, щоб падіння напруги U_2 стало дорівнювати ЕРС досліджуваного джерела, тобто

$$U_2 = \varepsilon_x. \quad (2)$$

При цьому струм через гальванометр протікати не буде, оскільки ЕРС джерела ε_x буде компенсуватися зустрічною різницею потенціалів U_2 на ділянці AB . З рівнянь (1) і (2) ЕРС досліджуваного джерела можна записати так:

$$\varepsilon_x = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + r} \varepsilon. \quad (3)$$

Включити в схему замість ε_x нормальний елемент ε_H і, не змінюючи опір R_1 , підібрати новий опір R'_2 , при якому струм через гальванометр протікати не буде. На основі міркувань, аналогічних попереднім, можна написати

$$\varepsilon_H = \frac{R'_2}{R_1 + R'_2 + r} \varepsilon. \quad (4)$$

З рівнянь (3) і (4) можна виключити ЕРС акумулятора ε і одержати

$$\varepsilon_x = \frac{R_2 \left(R_1 + R'_2 + r \right)}{R'_2 \left(R_1 + R_2 + r \right)} \varepsilon_i. \quad (5)$$

Якщо внутрішній опір акумулятора $r < R_1 + R_2$, то ним можна знехтувати і формула (5) прийме вигляд:

$$\varepsilon_x = \frac{R_2 \left(R_1 + R'_2 \right)}{R'_2 \left(R_1 + R_2 \right)} \varepsilon_i. \quad (6)$$

За цією формулою і розраховують ε_x . Як нормальний елемент використовують ртутно-кадмієвий елемент Вестона, що відрізняється великою сталістю значення

ЕРС і досить малою залежністю її від температури, $\varepsilon_H = 1,0183$ В.

Елемент Вестона не можна трясти і перевертати. Від нього не можна брати струми понад 10^{-6} – 10^{-5} А, а також включати його на тривалий час. Усе це призводить до його пошкодження!

Виміри проводять для п'яти значень опору R_1 , починаючи з 800 Ом.

Отримані результати записують у таблицю.

№ вим.	R_1 Ом	R_2 Ом	R'_2 Ом	ε_{x_i} В	$\langle \varepsilon_x \rangle$ В	$\Delta \varepsilon_{x_i}$ В	$\Delta \varepsilon_{x_i}^2$ В	$S\langle \varepsilon \rangle$	α	$t_{\alpha, n}$	$\Delta \varepsilon_x$ В	E %
1												
2												
3												
4												
5												

Остаточний результат записати у вигляді

$$\varepsilon_{\text{з\ddot{o}}} = (\langle \varepsilon \rangle \pm \Delta \varepsilon) \hat{A} \text{ при } \alpha = \dots$$

Контрольні питання

1. Яка фізична величина називається різницею потенціалів?
2. Яка фізична величина називається напругою?
3. Яка фізична величина називається ЕРС?
4. У чому полягає метод компенсації?
5. Чому для виміру ЕРС не можна використовувати вольтметр?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельєв І.В. Курс общей фізики. – М.: Наука, 1997.- Т.2, 4.1, гл.5.

Лабораторна робота 3.35

Експериментальне дослідження електростатичного поля методом моделювання

Прилади і приладдя: 1) ванна з електродами різної форми, частково заповнена водою; 2) джерело живлення; 3) вольтметр; 4) пантограф із зондом; 5) масштабна лінійка.

Мета роботи: дослідження електростатичного поля методом моделювання.

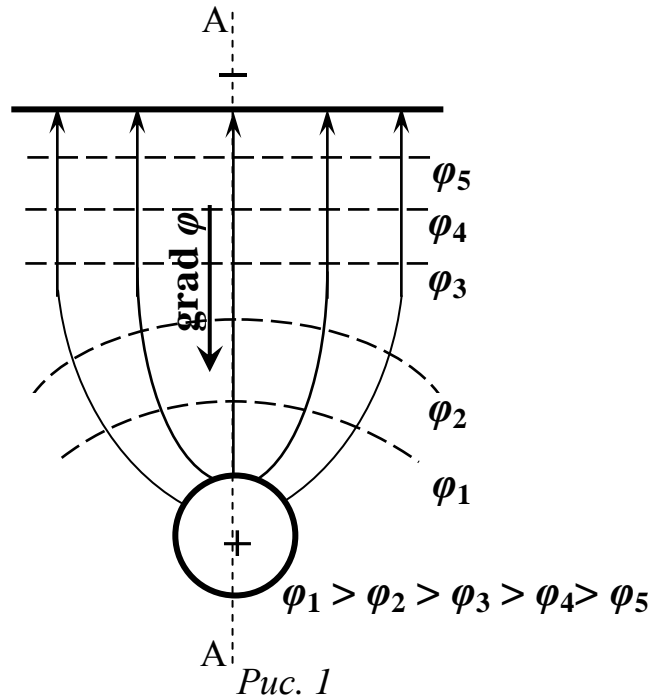
Опис приладу і теоретичні відомості

Для характеристики електростатичного поля в кожній точці простору ви-

користуються вектор напруженості \vec{E} поля і потенціал φ поля. Ці величини зв'язані співвідношенням:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi.$$

Знаючи розподіл ліній рівного потенціалу, можна, з огляду на те, що лінії напруженості перпендикулярні екіпотенціальним лініям у точках перетинання, побудувати лінії напруженості поля (рис. 1).



У більшості випадків геометричне розташування електродів занадто складне, щоб екіпотенціальні лінії можна було визначити аналітично. У цих випадках застосовують пристрої, що дозволяють завдяки аналогії між розподілом електричного потенціалу і розподілом відповідної величини в системі пристрою легко побудувати екіпотенціальні лінії. Вивчення електростатичного поля заміняють вивченням його на моделі, що представляє собою електричне поле постійного в часі (стаціонарного) струму в слабко провідному середовищі між електродами, форма і взаємне розташування яких такі ж, як і в досліджуваному полі. У такому середовищі поле в просторі має ту ж конфігурацію, яку воно мало б у непровідному середовищі та у вакуумі.

Таким чином, електростатичне поле в непровідному середовищі (у вакуумі або діелектрику) і поле постійних струмів в однорідному середовищі практично однакові, обидва поля потенційні, а їхні лінії напруженості перпендикулярні поверхням заряджених провідників – електродів (поблизу цих поверхонь). Через те, що існують прості способи і прилади для виміру різниці потенціалів, розподіл потенціалів простіше вивчати експериментально.

Дослідження розподілу потенціалів в електростатичному полі здійснюється за допомогою методу зонда. Сутність цього методу складається у введенні в досліджувану точку поля, створюваного зарядженими провідниками (електродами), спеціального електрода – зонда, з'єданого з приладом, що вимірює потенціал точки, в якій розміщено зонд.

Експериментальна установка складається з ванни, виконаної з матеріалу з висо-

кими електроізоляційними властивостями, джерела живлення і вольтметра (рис. 2).

У ванну поміщені металеві електроди, поле між якими досліджується, і налита вода шаром близько 5 мм. Питома провідність води порядку 10^{-3} – 10^{-2} См/м, а питома провідність матеріалу електродів 10^{-7} См/м.

При роботі необхідно цілком усунути можливість електролізу рідини, оскільки виникаючі пухирці газу викликають місцеві зміни потенціалу і приводять до значних неточностей. Тому роботу варто проводити зі змінною напругою.

Для фіксації положення і форми екіпотенціальних ліній користуються спеціальним пристроєм – пантографом. До кінця направляючої лінійки прикріплюють зонд 2, що переміщається з лінійкою в горизонтальній площині над ванною. Нижній кінець зонда поміщають у воду. Пантограф служить для фіксації екіпотенціальних ліній на листі паперу. Система лінійок улаштована так, що олівець на пантографі повторює рух зонда, залишаючи на папері слід.

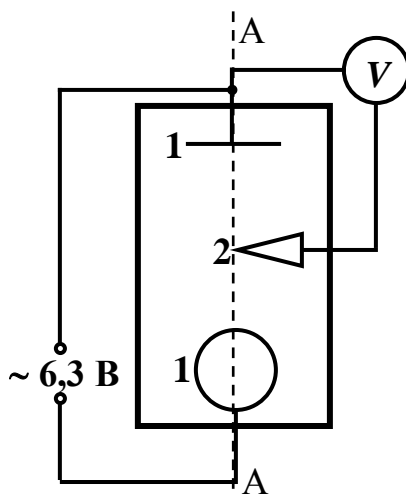


Рис. 2

Щоб приступити до побудови на папері екіпотенціальних ліній досліджуваного електричного поля, необхідно одержати контури горизонтальних перетинів електродів, встановлених у ванні. Для цього при *виключеному* джерелі живлення потрібно обвести зондом контури поверхонь електродів. Для одержання на папері зображення точок рівного потенціалу досліджуваного поля необхідно, переміщаючи зонд в електролітичній ванні, визначати точки з однаковим потенціалом. Повторюючи ці операції для різних значень потенціалу зонда, на папері одержують зображення сімейства екіпотенціальних ліній досліджуваного поля. За отриманим розташуванням екіпотенціальних ліній можна побудувати лінії напруженості поля.

Вимірювання

1. Зібрати коло як на рис. 2.
2. Помістити зонд у точку, що знаходиться поблизу одного з електродів, записати показання вольтметра і відзначити точку з отриманим значенням потенціалу.
3. Переміщаючи зонд, знайти ще 4–6 точок, що мають такий же потенціал і розташованих по ту ж сторону осі симетрії *AA*, а потім знайти аналогічні точки з іншого боку цієї осі.

4. Побудувати екіпотенціальні лінії, для цього на рисунку з'єднати точки з однаковим значенням потенціалу.

5. Повторити виміри для інших значень потенціалу. У просторі між електродами необхідно одержати не менш 7-ми ліній рівного потенціалу.

6. Побудувати лінії напруженості.

7. Побудувати графік залежності потенціалу φ поля від координати x . Значення x вибрати для точок, що належать осі симетрії. Початок відріку сполучити з поверхнею електрода, поблизу якого зареєстрований менший потенціал.

При побудові графіків $E(x)$ і $\varphi(x)$ та для спрощення розрахунків E доцільно вимірювати відстань не від опорного електрода до точки, у якій розглядається екіпотенціальна лінія, а відстань від зображення опорного електрода до зображення відповідної екіпотенціальної лінії, отриманої за допомогою пантографа.

Порівнюючи відстань L між електродами в електролітичній ванні і відстань l між зображенням цих електродів на папері, одержуємо масштабний коефіцієнт, який дорівнює $\frac{L}{l}$.

Цей коефіцієнт враховується безпосередньо при виборі масштабу по осі абсцис при побудові графіків залежностей $\varphi(x)$ і $E(x)$.

8. Користуючись побудованим графіком $\varphi(x)$, методом чисельного диференціювання знайти напруженість E поля для різних значень x , вважаючи, що

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x},$$

де $\Delta\varphi$ – зміна потенціалу на відрізку Δx .

Розрахунок за наведеною формулою проводити у такій послідовності. Вибравши значення x_1 , установити за графіком значення φ_1 , що відповідає значенню x_1 , а потім значення φ_2 для $x_2 = x_1 + \Delta x$.

Розділивши $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ на Δx , одержимо числове значення напруженості E поля, яке варто віднести до середини вибраного інтервалу $x_1, x_1 + \Delta x$. Розрахунок виконати для 7–8-ми значень x , що охоплюють увесь інтервал відстаней між електродами. Значення $\Delta x, \Delta\varphi$, значення координат, що відповідають серединам інтервалів Δx (у таблиці ця величина позначена x_i), E занести в таблицю. По отриманим даним побудувати графік залежності $E(x)$.

№ виміру	$\Delta x_i,$ мм	$\Delta\varphi_i,$ В	Координата середини інтервалу $x_i, мм$	$E,$ В/м
1				
...				
10				

Контрольні питання.

1. Що називають напруженістю \vec{E} і потенціалом φ електричного поля?

Який зв'язок між ними?

2. Як зобразити силове поле, знаючи розподіл еквіпотенціальних ліній.
3. Пояснити розподіл ліній напруженості та еквіпотенціальних ліній для дослідженого поля.
4. Який має вигляд теоретична залежність $E = f(x)$? Чому?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.:Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельєв І.В. Курс общей фізики.– М.: Наука, 1997.- Т.2, 4.1, гл.5.

Лабораторна робота 3.36

Визначення опору міліамперметра та опору джерела струму методом шунтування

Прилади і приладдя: 1) міліамперметр; 2) джерело струму; 3) два магазини опорів; 4) ключ і кнопка; 5) з'єднувальні провідники.

Мета роботи: 1) вивчення законів постійного струму, 2) визначення опору гальванометра і джерела струму методом шунтування.

Опис приладу і теоретичні відомості

Для визначення опору міліамперметра і внутрішнього опору джерела струму застосовується метод шунтування.

I. Опір міліамперметра вимірюється за схемою, що на рис.1.

Джерело струму \mathcal{E} , ключ K_L , міліамперметр mA (опір R_2 , якого потрібно визначити) і магазин опорів M з'єднують послідовно. При замиканні кнопки K_H через опір R_1 магазину M протікає струм I_1 . Після приєднання паралельно міліамперметру шунта опором $R_{ш}$ струм через гальванометр зменшиться. Тепер можна підібрати в магазині M такий опір R_2 , при якому міліамперметр покаже попередній струм I_1 . Зневажаючи внутрішнім опором гальванічного елемента, у

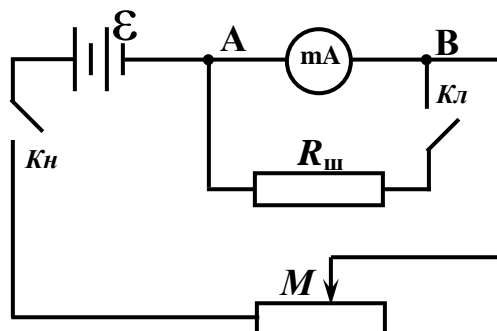


Рис. 1

першому випадку (без шунта) одержимо за законом Ома для замкнутого лан-

цюга запишемо

$$\varepsilon = I_1(R_1 + R_2). \quad (1)$$

Для другого випадку (із шунтом), застосовуючи перше і друге правила Кирхгофа, одержимо:

для вузла А

$$I_2 = I_1 + I_{ш}; \quad (2)$$

для контуру $\varepsilon ABR\varepsilon$

$$\varepsilon = I_1 R_2 + I_2 R_2; \quad (3)$$

для контуру $ABR_{ш}A$

$$0 = I_1 R_2 + I_{ш} R_{ш}. \quad (4)$$

Розв'язуючи ці чотири рівняння, отримаємо

$$R_2 = \frac{R_1 - R_2}{R_2} R_{ш}. \quad (5)$$

Вимірювання

1. Зібрати електричне коло за схемою рис. 1.
2. Після перевірки кола викладачем увімкнути опір магазину 15000 – 10000 Ом і, замкнувши кнопку K_n , зазначити на шкалі положення стрілки гальванометра.
3. За вказівкою викладача увімкнути шунт $R_{ш}$ і, замикаючи кнопку K_n , підібрати в магазині такий опір R_2 , щоб спостерігалось попереднє відхилення стрілки гальванометра.
4. Дослід повторити при різних значеннях R_1 і $R_{ш}$.
5. Результати вимірів і обчислень записати в табл. 1.

Остаточний результат записати у вигляді

$$R_{\tilde{a}_{3\tilde{n}\tilde{o}}} = \left(\langle R_{\tilde{a}} \rangle \pm \Delta R_{\tilde{a}} \right) \text{ Ом при } \alpha = \dots$$

II. Щоб визначити внутрішній опір гальванічного елемента r , необхідно зібрати коло за схемою рис. 2.

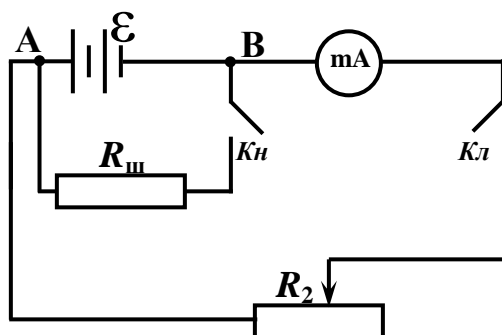


Рис. 2

Якщо замкнути ключ K_l , то по колу протікає струм I_1 , і за законом Ома для замкненого кола

$$\varepsilon = I_1(R_1 + R_2 + r). \quad (6)$$

Не розмикаючи ключа K_1 , замкнути кнопку K_2 , підібрати в магазині такий опір R_3 , щоб через гальванометр протікав струм I_1 . На базі правил Кирхгофа запишемо:

для вузла А

$$I_1 = I_2 + I_{ш}; \quad (7)$$

для контуру А $R_{ш}$ ВРА:

$$0 = I_{ш}R_{ш} + I_1(R_2 + R_3); \quad (8)$$

для контуру АЕВ $R_{ш}$ А

$$\varepsilon = I_2r - I_{ш}R_{ш}. \quad (9)$$

Розв'язуючи системи (6) – (9), одержимо

$$r = \frac{R_1 - R_3}{\langle R_2 \rangle + R_3} R_{ш}. \quad (10)$$

Вимірювання провести у такій послідовності, як і в пунктах 2, 3, 4, причому R_1 приймають 15000 – 10000 Ом, $R_{ш}$ – береться за вказівкою викладача.

Результати вимірів занести в табл. 2.

Остаточний результат записати у вигляді

$$r_{уст} = (\langle r \rangle \pm \Delta r) \text{ Ом при } \alpha = \dots$$

Таблиця 1

№ Виміру	R_1 , Ом	n , поділ.	$R_{ш}$, Ом	R_2 , Ом	R_{2i} , Ом	$\langle R_{\tilde{a}} \rangle$, Ом	ΔR_{2i} , Ом	ΔR_{2i}^2 , (Ом) ²	$S\langle R_2 \rangle$, Ом	α	$t_{\alpha, n}$	ΔR , Ом	E , %
1													
2													
3													

Таблиця 2

№ виміру	R_1 , Ом	n , поділ	$R_{ш}$, Ом	R_3 , Ом	$\langle R_2 \rangle$, Ом	r_i , Ом	$\langle r \rangle$, Ом	Δr_i , Ом	Δr_i^2 , (Ом) ²	$S\langle r \rangle$, Ом	α	$t_{\alpha, n}$	Δr , Ом	E , %
1														
2														
3														

Контрольні питання

1. Як і який опір потрібно підключити до міліамперметра, розрахованого на струм 300 мА, щоб можна було вимірювати з його допомогою струм 3А?

2. Як і який опір потрібно підключити до міліамперметра, щоб вимірювати напругу в n раз більшу, ніж та, на яку він розрахований?
3. Сформулюйте 1- і 2-ге правило Кирхгофа.
4. Сформулюйте закон Ома для замкненого кола.

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.:Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельев И.В. Курс общей физики.– М.: Наука, 1997.- Т.2, 4.1, гл.5.

Лабораторна робота 3.37

Додавання взаємно перпендикулярних коливань

Прилади і приладдя: 1) осцилограф; 2) генератор гармонійних електромагнітних коливань звукової частоти.

Мета роботи: ознайомлення з методом визначення частоти гармонійних коливань за допомогою фігур Ліссажу.

Опис приладу і теоретичні відомості

Для визначення частоти гармонійних коливань використовується метод фігур Ліссажу – траєкторій, накреслених точкою, яка виконує одночасно два гармонійних коливання в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Вигляд фігур Ліссажу залежить від співвідношення між частотами, фазами і амплітудами обох коливань. Фігури Ліссажу можна спостерігати на екрані електронно-променевого осцилографа, якщо до двох пар відхиляючих пластин підведені змінні напруги з рівними або кратними частотами. Спостереження фігур Ліссажу – зручний метод дослідження співвідношень між частотами коливань.

Нехай коливання променя на відповідних осях відбувається за законами:

$$x = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1); \quad y = A_2 \cos(n\omega t + \varphi_2), \quad (1)$$

де φ_1, φ_2 – початкові фази коливань; n – число, яке дорівнює відношенню частот коливань.

Щоб з'ясувати характер результуючої траєкторії, потрібно з цих рівнянь виключити t і знайти рівняння $f(x, y) = 0$. В окремому випадку при $n = 1$ відбувається додавання коливань з однаковими частотами, тому рівняння траєкторії має вигляд

$$\left(\frac{x}{A_1}\right)^2 + \left(\frac{y}{A_2}\right)^2 - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (2)$$

Приймаючи участь одночасно в двох взаємно перпендикулярних коливальних рухах з однаковою частотою, точка описує еліпс (2). Вигляд цього еліпса залежить від різниці фаз коливань; в окремих випадках еліпс може виродитися

в пряму лінію (рис. 1).

Якщо різниця фаз дорівнює $\frac{\pi}{2}$ або $\frac{3\pi}{2}$, причому амплітуди коливань рівні ($A_1 = A_2 = A$), то точка описує коло.

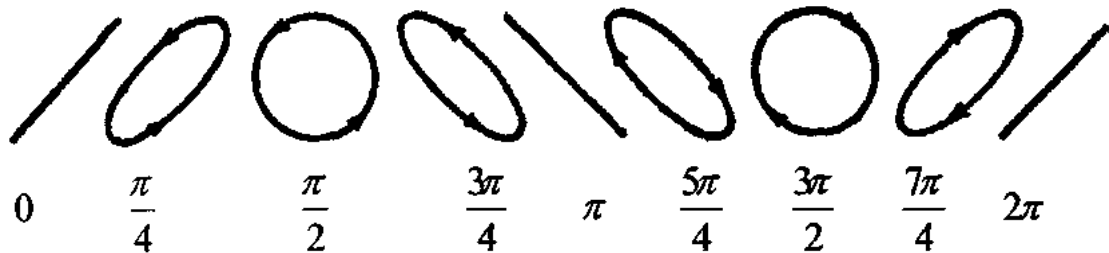


Рис. 1

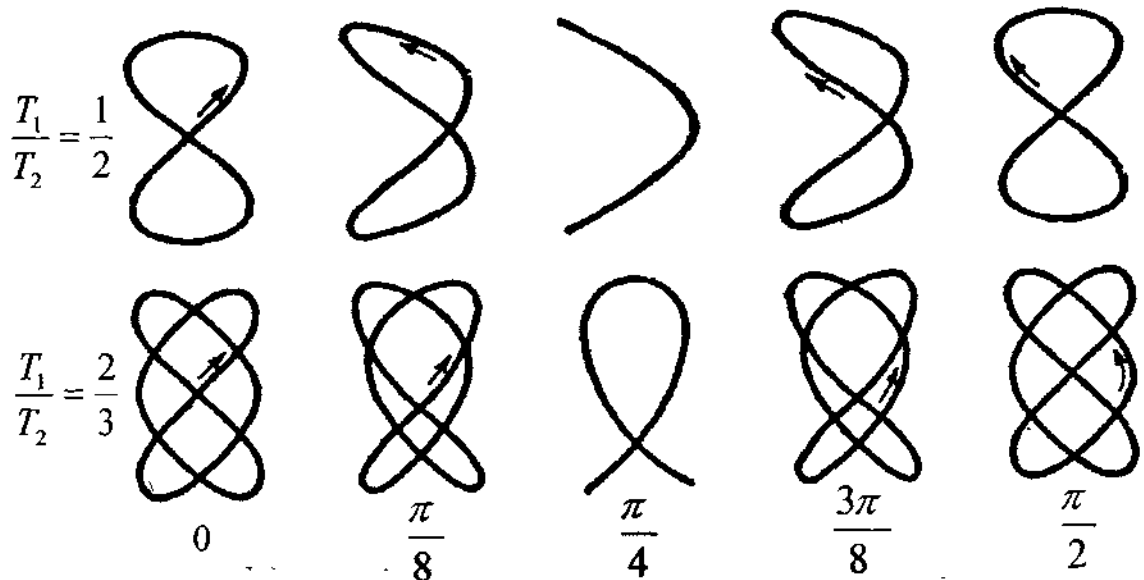


Рис. 2

Якщо частота одного з коливань відома, то по вигляду фігури Ліссажу визначають частоту іншого. Таке порівняння частот можна зробити, подаючи на горизонтально відхиляючі пластини напругу з відомою частотою ν_x , яка дорівнює 50 Гц, а на вертикально відхиляючі – напругу з досліджуваною частотою ν_y .

Існує таке правило для визначення частот. Проводять через задану фігуру дві довільні взаємно перпендикулярні прямі (осі x та y), це зображено на рис. 3.

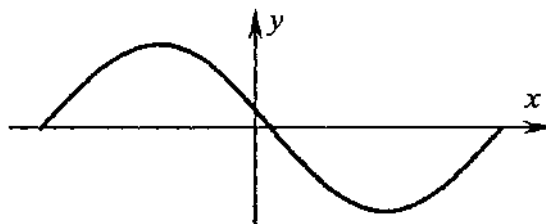


Рис. 3

Підраховують число точок перетинання з віссю x (n_x) і з віссю y (n_y). (у зазначеному прикладі $n_x = 3$, $n_y = 1$). Тоді

$$v_y = \frac{n_x}{n_y} v_x. \quad (4)$$

У випадку, коли пряма проходить через точку перетину частин фігури, то при підрахунку число перетинів врахують двічі.

Частоту v_y досліджуваного сигналу можна також обчислити, знаючи число торкань фігурою Ліссажу сторін умовного прямокутника (n_x і n_y), у який вона вписана (рис. 4), що дає відношення частот обох коливань.

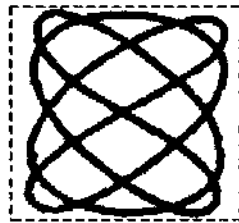


Рис. 4

У наведеному прикладі $n_x = 3$, $n_y = 4$. Ці значення підставляють у формулу (4).

Вимірювання

Завдання полягає в градуванні генератора гармонійних електромагнітних коливань звукової частоти по фігурах Ліссажу. У роботі використовується генератор з діапазоном частот 20 – 20000 Гц.

1. Зібрати схему відповідно до рис. 5. Напругу з генератора подати на вхід „Y” осцилографа, а коливання з частотою 50 Гц – на вхід „X”.

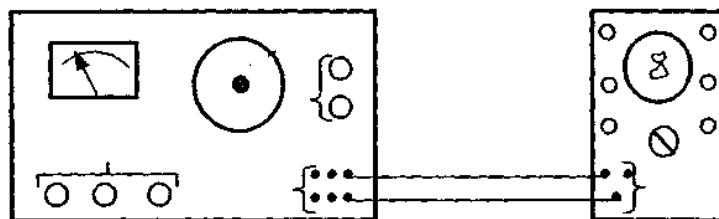


Рис. 5

2. Включити в мережу осцилограф і генератор. Вимкнути генератор розгортки осцилографа.

3. Обертаючи регулятор частоти генератора, домогтися появи стійкої фігури. Регуляторами вертикального і горизонтального підсилювачів осцилографа встановлюють відповідну величину зображення по вертикалі і горизонталі.

4. Визначити число точок перетинів або торкань n_x і n_y фігури та за формулою і (4) обчислити частоту v_y , яка відповідає поділці шкали генератора.

5. Змінюючи частоту генератора, домогтися нової стійкої фігури і знайти v_{y2} . Зафіксувати поділку N_2 шкали. Вимірювання провести для восьми фігур Ліссажу.

6. За експериментальними даними побудувати графік $v_y = f(N)$.

Контрольні питання

1. Як можна визначити, аналізуючи фігури Ліссажу, співвідношення додаваних коливань?
2. Що собою уявляє траєкторія результуючого коливання, якщо частоти додаваних коливань рівні, а різниця фаз:
а) $\Delta\varphi=0$; б) $\Delta\varphi=\pi/2$; в) $\Delta\varphi=\pi$.
3. Як змінюється траєкторія результуючого коливання, якщо змінюється співвідношення амплітуд додаваних коливань.

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.:Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельєв І.В. Курс общей фізики.– М.: Наука, 1997.- Т.2, 4.1, гл.5.

Лабораторна робота 3.38

Визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі

Прилади і приладдя: 1) тангенс-гальванометр; 2) джерело постійного струму; 3) перемикач; 4) амперметр; 5) з'єднувальні провідники.

Мета роботи: визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі.

Опис приладу і теоретичні відомості

Вільно підвішена за середину магнітна стрілка у магнітному полі Землі розташовується вздовж дотичної до магнітної силової лінії поля. Напрямок дотичних у кожній точці на силовій лінії збігається з напрямком вектора напруженості магнітного поля Землі.

Магнітне поле Землі схематично представлено картиною силових ліній (рис. 1). Як видно з рисунка, магнітні силові лінії перетинають поверхню Землі похило майже у всіх її точках.

У заданій точці земної поверхні вектор напруженості магнітного поля \vec{H}_3 розташований у площині магнітного меридіана: цей вектор може бути розкладений на горизонтальну \vec{H}_2 і вертикальну \vec{H}_g складові. Отже, якщо магнітна стрілка може вільно обертатися навколо вертикальної осі, то вона встановлюється вздовж магнітного меридіана.

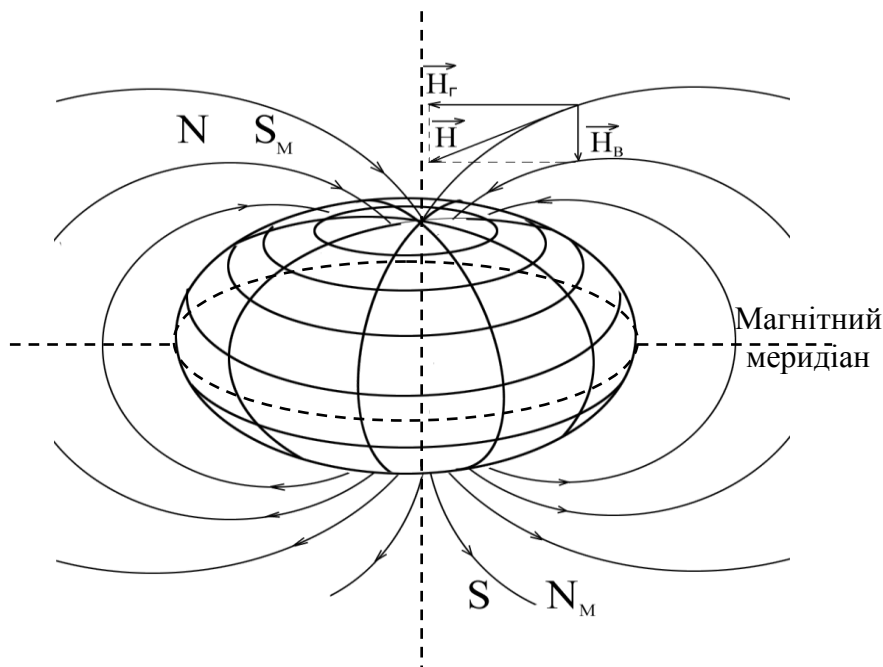


Рис. 1

Магнітна стрілка, поміщена в центрі кола зі струмом, прагне розташуватися вздовж напрямку силових ліній магнітного поля струму, тобто перпендикулярно площині контуру (якщо інші магнітні поля відсутні).

Напруженість магнітного поля струму в центрі контуру визначається за формулою

$$H_{\text{струму}} = \frac{I}{2R} N, \quad (1)$$

де I – сила струму в контурі; N – число витків контуру; R – радіус витка, м.

У роботі використовується прилад – тангенс-гальванометр, який складається з декількох витків провідника, що лежать в одній площині і в центрі яких закріплена магнітна стрілка (компас, рис. 3).

На магнітну стрілку діють одночасно два магнітних поля – поле струму і поле Землі. Якщо площину витків тангенс-гальванометра сполучити з площиною магнітного меридіана, то напруженості \vec{H}_z і $\vec{H}_{\text{струму}}$ виявляться перпендикулярними одна до одної, а їх результуюча $\vec{H} = \vec{H}_z + \vec{H}_{\text{струму}}$. Тому при проходженні струму по витках магнітна стрілка буде розташовуватися в напрямку рівнодіючої \vec{H} (рис. 2).

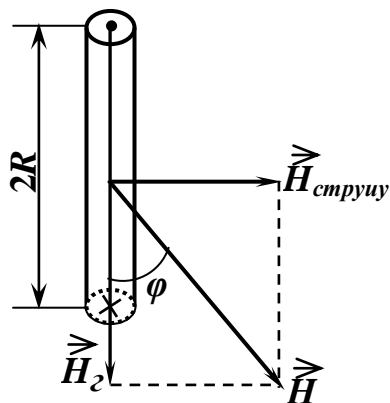


Рис. 2

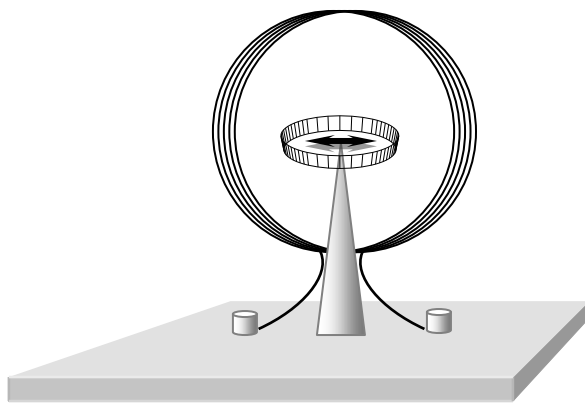


Рис. 3

Нехай φ – кут між усталеним напрямом магнітної стрілки і площиною магнітного меридіана. З рис. 2 видно, що $H_{\text{струму}} = H_z \operatorname{tg} \varphi$ або

$$H_z = H_{\text{струму}} / \text{tg}\varphi. \quad (2)$$

Підставляючи в (2) значення напруженості магнітного поля колового струму (1), одержимо

$$H_z = \frac{IN}{2R \text{tg}\varphi}. \quad (3)$$

З виразу (3) виходить, що величина струму, який протікає по витках тангенс-гальванометра

$$I = 2H_z R \text{tg}\varphi / N = C \cdot \text{tg}\varphi, \quad (4)$$

де $C = \frac{2H_z R}{N}$ – стала тангенс-гальванометра.

Отже, даний прилад дозволяє вимірювати величину струму в коловому контурі, якщо відомі H_z , R і N .

Назва цього приладу походить з того, що величина струму пропорційна тангенсу кута відхилення стрілки приладу.

Відлік кутів роблять по лімбі компаса тангенс-гальванометра.

Вимірювання

1. Переконайтеся, що поблизу тангенс-гальванометра немає предметів з феромагнітних матеріалів. Реостат, амперметр і перемикач із сталевими деталями варто розташовувати якнайдалі від приладу.

2. Зібрати схему згідно з рис. 4.

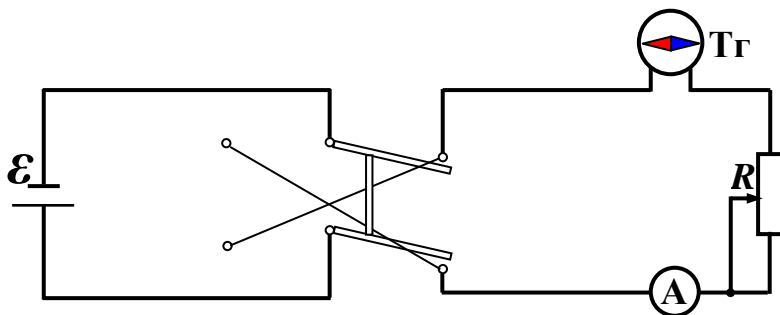


Рис.4

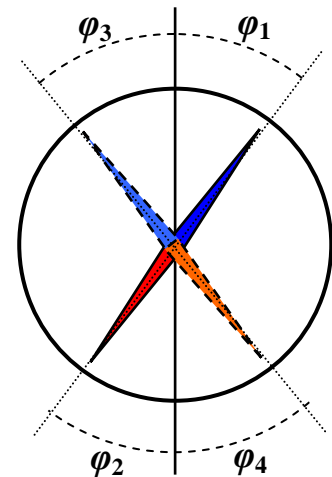


Рис.5

3. Установити площину витків тангенс-гальванометра в площині магнітного меридіана.

4. Після перевірки схеми викладачем увімкнути установку ключем *Кл*.

5. По черзі за допомогою реостата встановити величину струму, наприклад, $0.1; 0.2; 0.3; 0.4 \text{ A}$ (не менше 5-ти значень). У кожному випадку по лімбі визначити кути відхилення φ_1 і φ_2 магнітної стрілки.

6. Вимірювання повторити для тих же значень струмів, але протилежного напрямку (відзначивши кути φ_3 і φ_4).

7. Для кожного заданого струму I обчислити значення горизонтальної

складової магнітного поля Землі. Кут відхилення стрілки визначають за форму-

$$\text{лою } \varphi = \frac{\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4}{4}.$$

8. Середнє значення діаметра витків зазначено на тангенс-гальванометрі.
9. Обчислити значення H_z за формулою (3).
10. За формулою (4) для кожного значення струму знайти сталу C тангенс-гальванометра та її середнє значення $\langle C \rangle$.
11. Результати вимірів і обчислень занести у таблицю.
12. Побудувати графік залежності $\text{tg}\varphi$ від I і знайти сталу C тангенс-гальванометра.

№ виміру	I, A	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ	$\text{tg}\varphi$	R, m	$H_z, A/m$	$\langle H \rangle, A/m$	C, A	$\langle C \rangle, A$	$\Delta C, A$

13. Дані занести в таблицю і записати остаточний результат у вигляді

$$H_z = (\langle H_z \rangle \pm \Delta H_z) A / m \text{ при } \alpha = \quad ;$$

$$C = (\langle C \rangle \pm \Delta C) A \text{ при } \alpha = \quad .$$

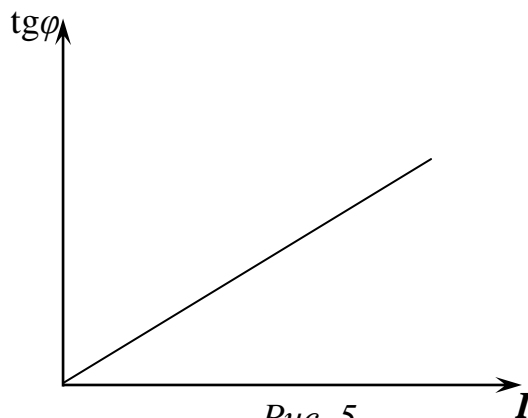


Рис. 5

Контрольні питання

1. Сформулюйте закон Біо – Савара – Лапласа.
2. Чому тангенс-гальванометр потрібно встановлювати віддалік від феромагнетиків і джерел магнітних полів?
3. Чому вимірювання проводять при двох різних напрямках струму?
4. Чи можна використовувати тангенс-гальванометр для виміру струму?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.:Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельєв І.В. Курс общей фізики.– М.: Наука, 1997.- Т.2, 4.1, гл.5.

Визначення ємності конденсатора містком Соті

Прилади і приладдя: 1) набори конденсаторів з невідомою і відомою ємностями; 2) магазин опорів; 3) електронний індикатор нуля (ЕІН).

Мета роботи: визначення ємності конденсатора містком Соті.

Опис приладу і теоретичні відомості

Ємність (електроємність) – фізична величина, що чисельно дорівнює заряду, який необхідно надати провіднику, щоб його потенціал був підвищений на одиницю.

Для отримання великих ємностей використовуються конденсатори, що представляють собою два стрічкових провідники, розділених тонким шаром діелектрика.

Практично ємність конденсатора можна визначити методом містка, аналогічного містку для визначення опору, замінивши в схемі відомий і невідомий опори відповідно відомою ємністю C_0 і вимірюваною C_x ємностями (рис. 1).

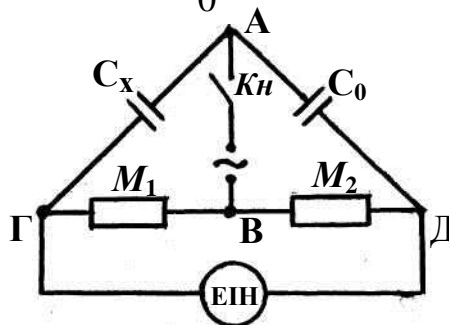


Рис. 1

До точок A і B підводиться змінна напруга (6,3 В), а до точок $Г$ і $Д$ підключається електронний індикатор нуля (осцилограф). При зміні опорів R_1 і R_2 в магазинах опорів M_1 і M_2 напруга на ділянці $ГД$ змінюється і може бути доведена до мінімуму. Індикатор нуля дозволяє безпосередньо визначати появу мінімуму напруги на ділянці $ГД$.

При увімкненні включенні установки змінний струм буде проходити по ділянках кіл $АГВ$ і $АДВ$.

Потрібно підібрати опори R_1 і R_2 такими, щоб різниця потенціалів на вході індикатора стала мінімальною. Це значить, що потенціали точок $Г$ і $Д$ майже однакові:

$$\varphi_{Г} \approx \varphi_{Д}. \quad (1)$$

При цій умові величини струмів на ділянках $АГ$ і $ГВ$, а також на ділянках $АД$ і $ДВ$ повинні бути однаковими, тобто

$$I_{C_x} = I_1 \text{ і } I_{C_0} = I_2. \quad (2)$$

Застосовуючи закон Ома для змінного струму на ділянках кола тільки з омичним або тільки з ємнісним опором $\left(R_{\tilde{n}} = \frac{1}{\omega\tilde{N}}\right)$ і приймаючи до уваги рівняння (2), запишемо:

$$\frac{\varphi_A - \varphi_2}{\frac{1}{\omega C_x}} = \frac{\varphi_B - \varphi_2}{R_1}; \quad (3)$$

$$\frac{\varphi_A - \varphi_0}{\frac{1}{\omega C_0}} = \frac{\varphi_B - \varphi_0}{R_2}, \quad (4)$$

де $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_2$ і φ_0 – потенціали точок A, B, Γ і D ;

ω – циклічна частота змінного струму.

З рівнянь (3), (4) і (1) одержимо

$$C_x = C_0 \frac{R_2}{R_1}. \quad (5)$$

Вимірювання

1. Підключити установку до мережі.
2. Установити відомі ємність C_0 і опір R_1 і підібрати в магазині опорів M_2 такий опір R_2 , щоб амплітуда сигналу на екрані осцилографа була мінімальною.
3. Змінивши R_1 , повторити дослід ще двічі. За формулою (5) обчислити ємність невідомого конденсатора C_x .
4. Зазначені вище вимірювання повторити з іншим конденсатором.
5. Виміряти ємність батареї конденсаторів (при паралельному і послідовному з'єднанні конденсаторів).
6. Результати вимірів і обчислень занести в таблицю.
7. Остаточний результат записати у вигляді:

$$C_1 = \left(\langle C_1 \rangle \pm \Delta C \right) \text{ мкФ при } \alpha = \quad ;$$

$$C_2 = \left(\langle C_2 \rangle \pm \Delta C \right) \text{ мкФ при } \alpha = \quad .$$

8. За середніми значеннями $\langle C_1 \rangle$ і $\langle C_2 \rangle$ розрахувати $C_{\text{послід}}$ і $C_{\text{парал}}$:

$$C_{\text{парал}}^{\text{теор}} = \langle C_1 \rangle + \langle C_2 \rangle; \quad C_{\text{посл}}^{\text{теор}} = \frac{\langle C_1 \rangle \cdot \langle C_2 \rangle}{\langle C_1 \rangle + \langle C_2 \rangle} \quad (6)$$

і порівняти їх з виміряними.

Таблиця

№ виміру	Дослідж. конд.	C_0 , мкФ	R_1 , Ом	R_2 , Ом	C_{x_i} , мкФ	$\langle C \rangle$, мкФ	ΔC_{x_i} , мкФ	$\Delta C_{x_i}^2$, (мкФ) ²	$S\langle C \rangle$, мкФ	$\Delta\langle C \rangle$, мкФ	E , %
1 2 3	1										
1 2 3	2										
1 2 3	Послідовне з'єднання										
1 2 3	Паралельне з'єднання										

Контрольні питання

1. Чому для вимірювання ємності методом містка Соті використовується перемінна напруга?
2. Від чого залежить ємнісний опір?
3. Чому дорівнює ємність батареї конденсаторів, з'єднаних послідовно?
4. Чому дорівнює ємність батареї конденсаторів, з'єднаних паралельно?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.:Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельєв І.В. Курс общей фізики.– М.: Наука, 1997.- Т.2, 4.1, гл.5.

Лабораторна робота 3.41

Визначення індуктивності котушок

Прилади і приладдя: 1) амперметр; 2) вольтметр; 3) реостат; 4) котушка індуктивності; 5) двохполюсний рубильник.

Мета роботи: 1) вивчення явища самоіндукції; 2) визначення індуктивності котушки з осердям та без осердя.

Опис приладу і теоретичні відомості

Навколо замкненого провідного контура зі струмом завжди виникає магнітне поле, яке створює певний магнітний потік крізь контур. Цей потік залежить від зміни величини струму в контурі, форми контуру і магнітної проникності середовища, в яке занурено контур.

Виникнення електрорушійної сили в контурі внаслідок зміни магнітного потоку, створюваного електричним струмом цього контуру, називається яви-

щем самоіндукції.

Зчеплений магнітний потік, що пронизує площу, обмежену контуром струму, пропорційний величині струму, тобто

$$\psi = LI, \quad (1)$$

де L – індуктивність контуру.

Величину, що чисельно дорівнює магнітному потоку крізь площу контуру, при величині струму контуру, який дорівнює одиниці, називають індуктивністю контуру.

Якщо форма, розміри контуру не змінюються, поблизу контуру немає ферромагнетиків, а змінюється лише величина струму в контурі, то ЕРС самоіндукції пропорційна швидкості зміни величини струму, тобто

$$\varepsilon_c = -L \frac{dI}{dt}. \quad (2)$$

Знак „мінус” указує, що ЕРС самоіндукції протидіє зміні сили струму в контурі.

З індуктивністю контуру також зв'язаний додатковий опір змінному струму. Цей опір залежить від індуктивності контуру, частоти змінного струму і називається індуктивним опором $R_L = L\omega$ ($\omega = 2\pi\nu$ – циклічна частота перемінного струму).

У роботі для визначення індуктивності L котушки застосовується метод, побудований на вимірі повного опору (імпедансу) Z котушки, включеної в коло змінного струму. Повний опір котушки виражається через омичний і індуктивний опори, а саме:

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}, \quad (3)$$

де R – омичний опір котушки.

Тоді згідно з формулою (3)

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R^2}. \quad (4)$$

У роботі використовується струм промислової частоти.

Повний опір Z вимірюється за допомогою вольтметра й амперметра (рис. 1).

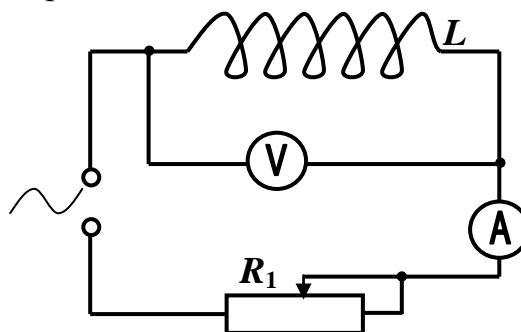


Рис. 1

Реостатом R_1 регулюється сила струму, яка вимірюється амперметром, а падіння напруги на котушці – вольтметром. Використовуючи закон Ома для ділянки кола, запишемо

$$Z = \frac{U}{I}, \quad (5)$$

де Z – шуканий повний опір котушки.

Вимірювання

1. Скласти електричне коло за схемою рис. 1. Підключити схему до мережі і, змінюючи опір реостата, установити задану викладачем напругу або струм, зняти показання амперметра і вольтметра. За формулою (5) обчислити повний опір котушки.

Дослід повторити три рази при різних значеннях напруги або сили струму.

Рубильник вмикати на час, необхідний для відліку показань приладів при одному вимірі, щоб не нагрівалася котушка.

2. Вставити феромагнітне осердя у котушку (тим самим збільшити магнітну проникність середовища) і повторити виміри, зазначені в пункті 1.

3. Обчислити за формулою (4) індуктивності котушки без осердя і з осердям. Результати вимірів і обчислень занести в таблицю.

№ виміру	Котушка	I, A	U, B	$Z_i, Ом$	$R, Ом$	$L_i, Гн$	$\langle L_i \rangle, Гн$	$\Delta L_i, Гн$	α	$t_{\alpha, n}$	$\Delta L, Гн$	$E, \%$
1 2 3	Без осердя											
1 2 3	З осердям											

Остаточний результат записати у вигляді:

$$L_1 = \left(\langle L_1 \rangle \pm \Delta L \right) \text{ Гн при } \alpha = \quad ;$$

$$L_2 = \left(\langle L_2 \rangle \pm \Delta L \right) \text{ Гн при } \alpha = \quad .$$

Контрольні питання

1. Чим відрізняються явища самоіндукції і електромагнітної індукції?
2. Від чого залежить індуктивність котушки?
3. Що називають імпедансом котушки і від чого він залежить?
4. Як впливає на показання вимірювальних приладів розміщення у котушці осердя з феромагнетика?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.:Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельев І.В. Курс общей физики.– М.: Наука, 1997.- Т.2, 4.1, гл.5.

Вивчення релаксаційних коливань

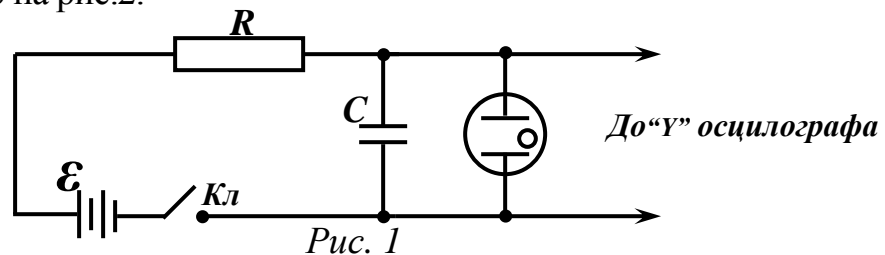
Прилади і приладдя: макет лабораторної установки.

Мета роботи: вивчення релаксаційних коливань.

Опис приладу і теоретичні відомості

Релаксаційними *коливаннями* називаються процеси, які періодично повторюються і складаються з двох стадій: повільного накопичення енергії системою до відповідного критичного значення і наступного спадання енергії, яке протікає майже миттєво. Звичайно про релаксаційні коливання говорять стосовно автоколивальних систем.

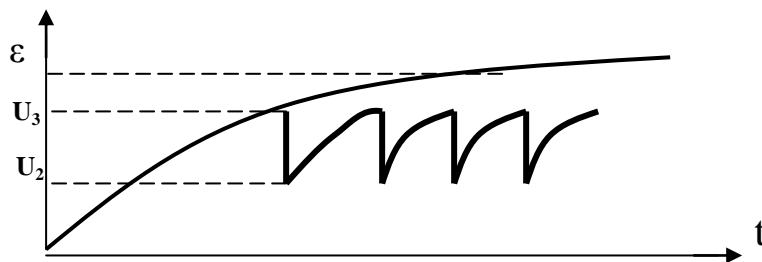
Розглянемо дію релаксаційного генератора, зібраного за схемою рис. 1. Основною частиною цієї схеми є неонова лампа і конденсатор C , заряджається від джерела струму через опір R . Коли напруга U_c на конденсаторі досягає напруги запалювання газового розряду, в неоновій лампі виникає газовий розряд. Опір неонові лампи зменшується практично до нуля, і конденсатор швидко розряджається через неї. Якщо напруга U_c на конденсаторі зменшується до значення напруги гасіння розряду U_2 , то розряд у лампі припиняється. З цього моменту конденсатор знову заряджається доти, поки його напруга не досягне напруги U_3 запалювання газового розряду. Потім знову відбувається розрядження конденсатора. Коливання напруги зображено на рис.2.



Напруга на конденсаторі при його зарядженні визначається за формулою

$$U = U_3 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right), \quad (1)$$

де R – величина опору; C – ємність конденсатора; t – час.



У випадку розрядження конденсатора залежність напруги на конденсаторі від часу має вигляд:

$$U = U_3 \exp\left(-\frac{t}{RC}\right). \quad (2)$$

Час, за який напруга на конденсаторі збільшиться на величину від U_2 до U_3 , приблизно дорівнює періоду релаксації (T – проміжок часу між двома послідовними спалахами неонові лампи). Отже, якщо в (1) підставити $t = T$, то можна одержати

$$T = RC \ln\left(\frac{U_3}{U_3 - U_2}\right). \quad (3)$$

Якщо замість R підставити в (3) невідомий опір R_i , то період релаксації

$$T_i = R_i C \ln\left(\frac{U_3}{U_3 - U_2}\right). \quad (4)$$

При вимірі ємності конденсатора

$$T_j = RC_j \ln\left(\frac{U_3}{U_3 - U_2}\right). \quad (5)$$

Розділивши (4) і (5) на (3), отримаємо

$$R_i = \frac{RT_i}{T}; \quad (6)$$

$$C_j = \frac{\tilde{N}T_j}{T}. \quad (7)$$

Знаючи періоди релаксацій і значення R та C , можна за формулами (6) і (7) визначити величини невідомих опорів і ємностей.

Вимірювання

1. Увімкнути на макеті R_x , C_x і підключити до осцилографа. Домогтися стійкої картини на екрані. Визначити на масштабній сітці екрана координати 7 – 10 точок кривої і побудувати графік.

Спостерігати зміну кривих зі зміною величин R і C .

2. Увімкнути на макеті відомі R, C .
Визначити секундоміром час t 10-ти спалахів неонові лампи та обчислити період $\left(T = \frac{t}{10}\right)$ релаксації.

3. Увімкнути на макеті невідомий опір R_i ; визначити період релаксації T_i і за формулою (6) обчислити R_i .

4. Повторити досліди з двома іншими невідомими опорами.

5. Результати вимірів і обчислень занести в табл. 1.

6. Виконати аналогічні виміри, змінюючи ємності C_j й обчислити величину трьох невідомих ємностей за формулою (7).

7. Кожен дослід повторити три рази.

8. Результати вимірів і обчислень занести в табл. 2

Остаточний результат записати у вигляді:

$$R_i = \left(\langle R_i \rangle \pm \Delta R_i \right) \text{ при } \alpha = \quad ;$$

$$C_j = \left(\langle C_j \rangle \pm \Delta C_j \right) \text{ при } \alpha = \quad .$$

Таблиця 1

№ виміру	R , МОм	T , с	T_i , с	R_i , МОм	$\langle R_i \rangle$, МОм	ΔR_{i_x} , МОм	$\Delta R_{i_x}^2$, МОм ²	$S\langle R \rangle$, МОм	$t_{\alpha n}$	ΔR_i , МОм	E , %
1											
2											
3											
1											
2											
3											
1											
2											
3											

Таблиця 2

№ виміру	C , мкФ	T , с	T_j , с	C_j , мкФ	$\langle C_j \rangle$, мкФ	ΔC_{j_k} , мкФ	$\Delta C_{j_k}^2$, мкФ ²	$S\langle C \rangle$, мкФ	$t_{\alpha n}$	ΔC_j , мкФ	E , %
1											
2											
3											
1											
2											
3											
1											
2											
3											

Контрольні питання

1. Як змінеться період релаксації, якщо R і C збільшити в k разів?
2. Як вимірити R_i і C_j , якщо при їхньому вмиканні миготіння лампи настільки часті, що важко визначити період релаксації?
3. Як впливає на релаксаційні коливання увімкнений у коло осцилограф?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельєв І.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1997. – Т.2, 4.1, гл.5.

Вивчення роботи двохелектродної лампи

Прилади і приладдя: макет лабораторної установки.

Мета роботи: 1) зняття температурної характеристики діода; 2) зняття анодної характеристики діода.

Опис приладу і теоретичні відомості

Явище термоелектронної емісії полягає у випромінюванні електронів розжареними металами. У процесі хаотичного руху всередині металу деякі електрони одержують кінетичну енергію більшу ніж робота виходу електронів з металу.

Такі електрони емітують з металу та утворюють навколо нього електронну хмарку. Емісія електронів зростає з підвищенням температури металу.

Якщо розжарений метал зробити катодом вакуумної трубки (це означає, що на нього подають негативний потенціал), а на анод подати позитивний потенціал, то в трубці буде протікати термоелектронний струм. Така двохелектродна вакуумна трубка має назву діод (рис.1). Електричне поле між катодом K та анодом A відтягує електрони до A , електронна хмарка розсіюється й утворюються умови для подальшої емісії електронів з металу.

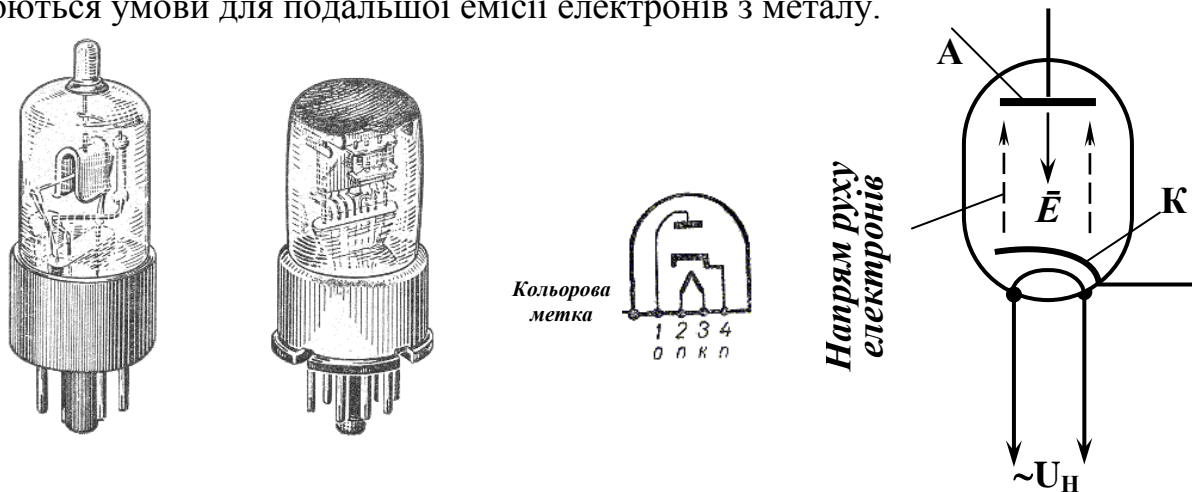


Рис.1

Якщо між катодом і анодом створити електричне поле так, щоб позитивний полюс батареї був з'єднаний з анодом, а негативний (з катодом) та міліамперметр, увімкнений послідовно з діодом, покаже струм (рис. 2). Якщо катод холодний, то з подачею напруги на анод струму в колі не буде. Це пояснюється тим, що досить розряджений газ усередині діода (вакуум) не містить заряджених частинок. При такій умові електропровідність діода дорівнює нулю.

Залежність сили струму від напруги (анодна або вольт-амперна характеристика діода) має нелінійний характер, тобто закон Ома для вакуумного діода не виконується. При збільшенні анодної напруги сила струму (при $T_{\text{катода}} = \text{const}$) досягає максимуму, який називають струмом насичення.

Вимірювання

I. Зняття температурної характеристики діода

Температура катода зростає зі збільшенням напруги розжарювання U_H , тому будемо досліджувати залежність сили анодного струму I_a від напруги на нитці розжарювання катода U_H .

$$I_a = f(U_H).$$

1. Зібрати схему згідно з рис. 2.

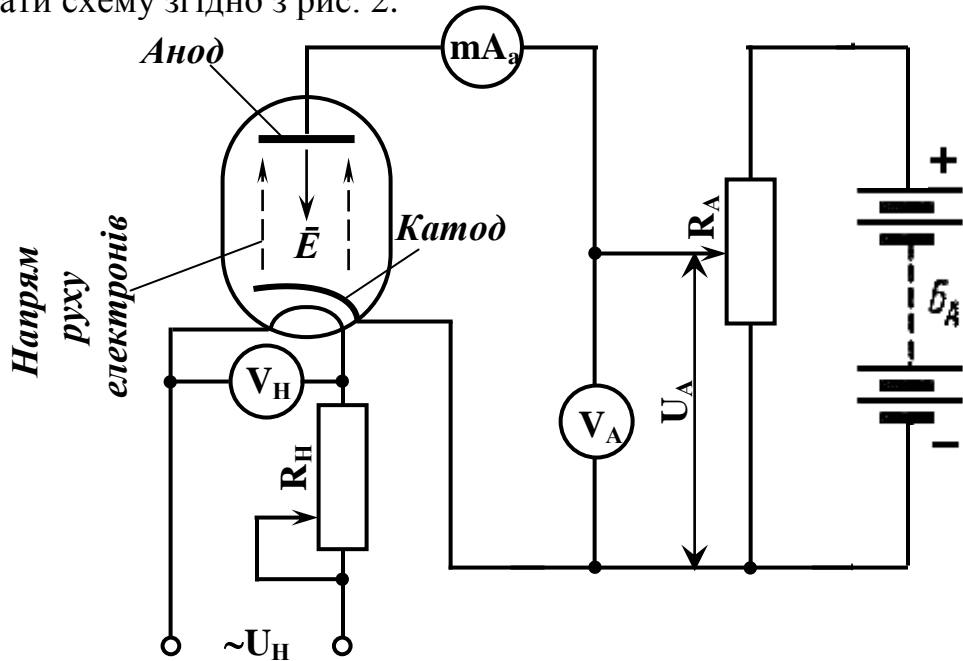


Рис. 2

2. Потенціометром установити анодну напругу 20 В.
3. За допомогою реостата розжарювання R_f змінювати напругу U_H через 0.2 В, кожний раз визначаючи сталі значення струму I_a .
4. Результати вимірів занести в табл.1 $I_a = f(U_H)$, (табл. 1).

5. Повторити пп. 3, 4 для $U_a = 30$ В.

6. За даними таблиці побудувати залежність

$$I_a = f(U_H), \text{ при } U_a=30\text{В та } 20\text{В.}$$

Обидві криві будуються в одній системі координат (рис. 3).

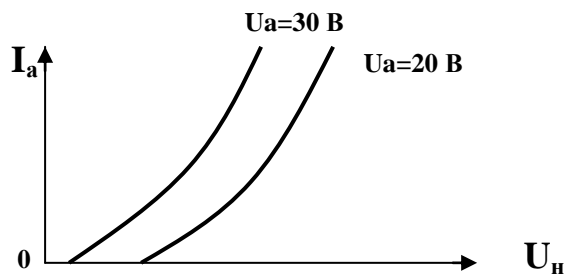


Рис. 3

II. Зняття анодної характеристики

1. Для зняття анодної характеристики необхідно скористатися попередньою схемою (рис. 2).

2. Установити напругу розжарювання U_{H1} .
3. Підвищуючи щоразу анодну напругу U_a на 5 В, вимірювати анодний струм I_a .
4. Результати вимірів записати в табл.2.
5. Повторити пп. 3, 4 для U_{H2} .
6. За даними таблиці побудувати залежність $I_a = f(U_a)$ при U_{H1} та U_{H2}

Обидві криві будуються в одній системі координат (рис. 4).

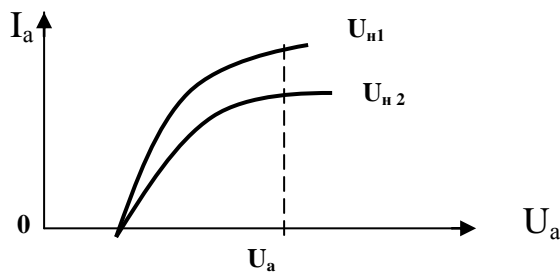


Рис. 4

Таблиця 1

№ виміру	$U_a = 20 \text{ В}$		$U_a = 30 \text{ В}$	
	U_H	I_a	U_H	I_a
1				
...				
...				
10				

Таблиця 2

№ виміру	$U_H =$		$U_H =$	
	U_a	I_a	U_a	I_a
1				
...				
...				
10				

Контрольні питання

1. Від чого залежить сила струму насичення?
2. Чому для роботи електронних ламп необхідний високий вакуум?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.:Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельєв И.В. Курс общей физики.– М.: Наука, 1997.- Т.2, 4.1, гл.5.

Лабораторна робота 3.46

Вивчення роботи напівпровідникових діодів

Прилади і приладдя: макет лабораторної установки.

Мета роботи: 1) вивчення роботи напівпровідникових діодів; 2) знят-

тя вольт-амперної характеристики германієвого та селенового діодів.

Опис приладу і теоретичні відомості

Випрямлення змінних струмів можна здійснювати за допомогою пристроїв, які називають напівпровідниковими діодами.

Основним елементом діодів є “ $p - n$ ” – перехід. Він являє собою тонкий шар у кристалі на границі між двома об’ємами цього кристала, що відрізняються типом домішкової провідності. Розглянемо вплив зовнішнього поля на властивості “ $p - n$ ” – переходу. Для цього підключимо контактуючі між собою “ p ” – і “ n ” – напівпровідники в коло джерела струму. У випадку, зображеному на рис. 1, зовнішнє поле джерела струму буде підсилювати поле контактного шару і призведе до зростання потенційного бар’єра для електронів і “дірок”, що переходять через контакт. Разом з тим зовнішнє поле викличе рух електронів у “ n ” – напівпровіднику і “дірок” у “ p ” – напівпровіднику в сторони, протилежні від контакту. Це призведе до збільшення товщини запірного шару та росту його опору. Струм через “ $p - n$ ” перехід у цьому випадку обумовлений неосновними носіями і називається зворотним струмом. Напрямок зовнішнього поля, при якому розширюється запірний шар, називається запірним: у цьому напрямку електричний струм основних носіїв практично не проходить через контакт двох напівпровідників.

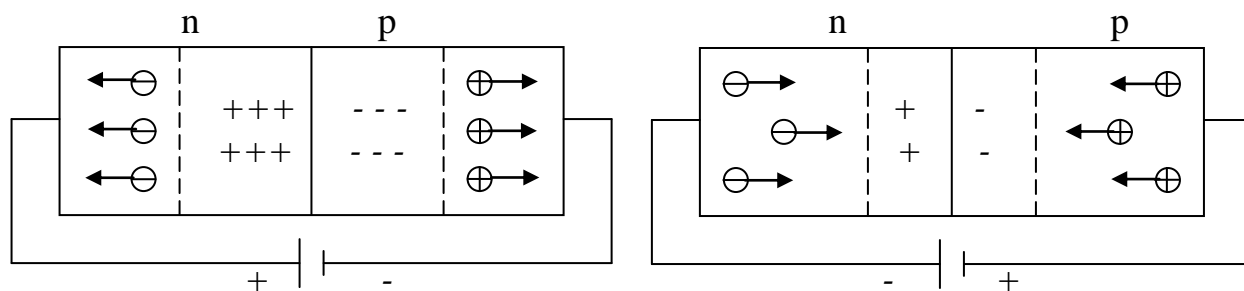


Рис. 1

Рис. 2

Якщо змінити полярність прикладеної зовнішньої напруги, то зовнішнє електричне поле буде спрямовано протилежно полю контактного шару. Число рухомих носіїв струму в об’ємі контакту буде зростати за рахунок зустрічного руху електронів і дірок, що переміщуються під дією зовнішнього поля з глибини напівпровідників до границі “ $p - n$ ” – переходу. Товщина контактного шару і його опір при цьому зменшуються.

Отже, електричний струм, обумовлений переходом основних носіїв, може більш-менш вільно проходити через “ $p - n$ ” – перехід у напрямку від “ p ” – до “ n ” – напівпровідника. Цей напрям прийнято називати прямим або пропускним, а струм – прямим. Таким чином, контакт двох домішкових напівпровідників з різними типами носіїв струму має односторонню провідність.

Виникаюче в кристалі при прямій напрузі електричне поле “підгортає” основні носії до границі між областями, внаслідок чого ширина перехідного шару, збідненого носіями, зменшується. (Зміну ширини перехідного шару можна пояснити тим, що при заданому $\frac{d\varphi}{dx}$ менша зміна потенціалу $\Delta\varphi$ здійсню-

ється на меншій довжині Δx). Відповідно зменшується й опір переходу, причому тим сильніше, чим більша напруга. Таким чином, вольтамперна характеристика в пропускну́й області не є прямою лінією (рис.3)

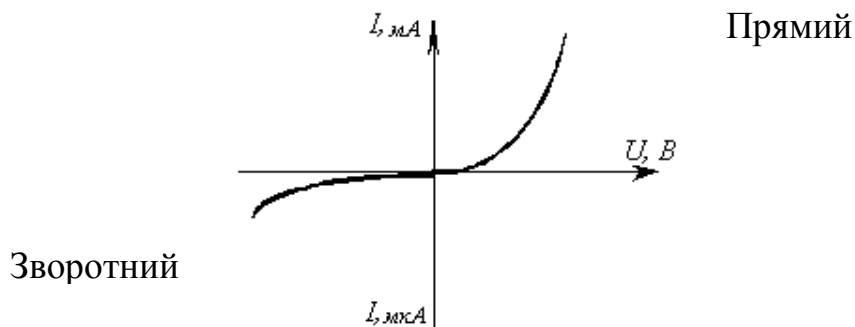


Рис. 3

Вимірювання

1. Увімкнути в схему досліджуваній діод і одержати вольт-амперну характеристику для прямого і зворотніх напрямів струму. Для цього встановити певні значення напруги і визначити відповідні струми.

2. Поміняти діод (з германієвого на кремнієвий або селеновий) і зняти для нього аналогічну характеристику. Результати вимірів занести в таблиці 1 та 2 і побудувати графіки залежності $I = f(U)$ для обох діодів.

3. Обчислити коефіцієнт випрямлення k ($k = I_{np}/I_{zv}$, причому I_{np} і I_{zv} узяти при однакових значеннях U_{np} і U_{zv}).

Напря́м струму	№ виміру	U		I	
		поділок	B	поділок	A
Прямий	1				
	2				
	...				
	10				
Зворотний	1				
	2				
	...				
	10				

Таблиця 2

Напря́м струму	№	U		I	
		поділок	B	поділок	A
Прямий	1				
	2				
	...				
	10				
Зворотний	1				
	2				
	...				
	10				

Контрольні запитання

1. Пояснити, чому “ $p - n$ ” – перехід має однобічну провідність?
2. Чому в пропускну́й області вольт-амперна характеристика не є лінійною?
3. Яка фізична величина називається коефіцієнтом випрямлення?
4. Яка область використання напівпровідникових діодів?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.:Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельєв І.В. Курс общей фізики.– М.: Наука, 1997.- Т.2, 4.1, гл.5.

Лабораторна робота № 3.48

Визначення відношення заряду електрона до його маси методом відхилення пучка електронів у магнітному полі Землі

Прилади і приладдя: 1) електронно-променева трубка; 2) блок живлення.

Мета роботи: 1) вивчення руху заряджених частинок у магнітному полі; 2) визначення відношення заряду електрона до його маси (питомого заряду) методом відхилення пучка електронів у магнітному полі Землі.

Опис приладу і теоретичні відомості

Однією з важливих характеристик електрона є його питомий заряд, який дорівнює відношенню заряду електрона e до його маси m . Експериментальне визначення e/m належить до класичних дослідів фізики. Існує кілька методів визначення e/m . Усі вони базуються на дії електричного і магнітного полів на рухомий електрон.

У цій роботі метод визначення питомого заряду електрона базується на використанні електронно-променевої трубки, в якій немає екранного захисту від магнітного поля Землі.

Сила, що діє з боку електромагнітного поля на частинку із зарядом e , визначається формулою Лоренца

$$\mathbf{F} = e\mathbf{E} + e[\mathbf{v}\mathbf{B}]. \quad (1)$$

Перший доданок – сила, що діє на заряд e з боку електричного поля, другий – сила, що діє на заряд e з боку магнітного поля.

Розглянемо випадок, коли електрон рухається в поперечному магнітному полі, а електричне поле відсутнє, тобто $\mathbf{v} \perp \mathbf{B}$, а $\mathbf{E} = 0$. Модуль сили Лоренца в цьому випадку

$$F = evB. \quad (2)$$

Відповідно основному закону динаміки $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$. Оскільки в даному випадку на заряд e діє магнітна складова сили Лоренца і саме вона викривляє траєкторію руху, а значить надає заряду нормальне прискорення $a_n = v^2/R$, то основний закон динаміки має вигляд:

$$e v B = m v^2 / R, \quad (3)$$

де R – радіус кривизни траєкторії електрона.

Звідси випливає $e/m = v/(RB)$. Знаючи v , R і B , можна знайти відношення заряду електрона до його маси.

Для визначення швидкості електрона необхідно скористатися співвідношенням

$$m v^2 / 2 = e U, \quad (4)$$

де $m v^2 / 2$ – кінетична енергія електрона, яку одержує електрон після проходження різниці потенціалів U .

Порівнюючи вирази (3) і (4), одержимо

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{(RB)^2} \quad (5)$$

З прямокутного трикутника ABC (рис. 1)

$$R^2 = a^2 + (R - Z)^2 \quad (6)$$

або

$$R = \frac{a^2 + Z^2}{2Z}, \quad (7)$$

де a – відстань від керуючої сітки трубки до екрана; Z – відхилення пучка електронів від прямолінійного напрямку, відліченого вздовж екрана;

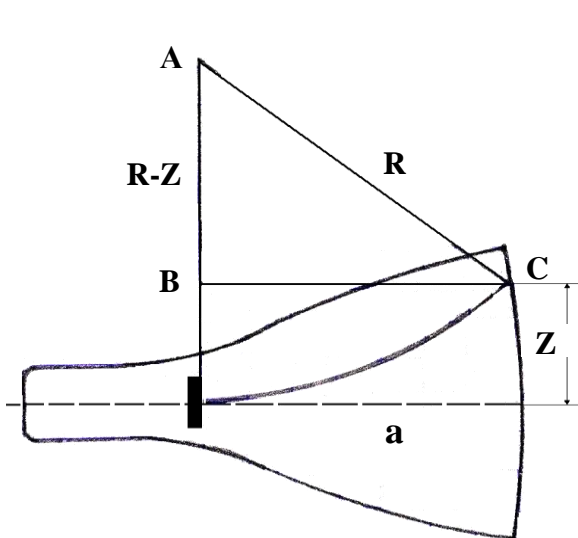


Рис. 1

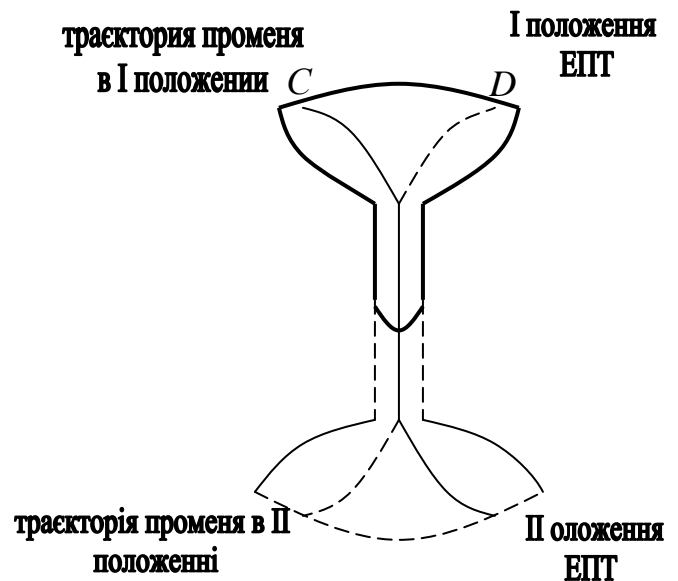


Рис. 2

Z – визначається як половина відстані між двома точками на екрані, що відповідають двом протилежним відхиленням пучка (рис. 2).

Вимірювання

1. Установити вісь трубки горизонтально в площині магнітного меридіана (екраном на північ).

2. Ручкою «Фокус II» на блоці живлення установити прискорювальну різницю потенціалів ($U=800-1000\text{ В}$).

3. Ручкою «Фокус I» на блоці живлення сфокусувати світлу пляму на екрані трубки. По сітці визначити положення світної точки C .

4. Повернути трубку на 180° (екраном на південь) і відзначити нове положення точки D . Очевидно, $Z = \frac{1}{2} CD$.

5. Знайти величину R за формулою (7). Для даної трубки, $a = 23\text{ см}$. Вертикальна складова магнітної індукції B магнітного поля Землі, для даної географічної широти, дорівнює $0,5 \cdot 10^{-4}\text{ Тл}$.

6. Визначити $\frac{e}{m}$ за формулою (5).

7. Дослід повторити при різних значеннях U .

Дані вимірів занести в таблицю

№ виміру	$U, \text{ В}$	$R, \text{ м}$	$B, \text{ Тл}$	$Z, \text{ м}$	$\left(\frac{e}{m}\right)_i, \text{ Кл/кг}$	$\left\langle\left(\frac{e}{m}\right)\right\rangle, \text{ Кл/кг}$	$\Delta\frac{e}{m}, \text{ Кл/кг}$	$E, \%$
1								
2								
3								
4								

Остаточний результат записати у вигляді

$$\left\langle\left(\frac{e}{m}\right)\right\rangle \pm \Delta\frac{e}{m} \quad \frac{\text{Кл}}{\text{кг}} \quad \text{при } \alpha = \dots$$

Контрольні питання

1. Яка величина називається питомим зарядом?
2. Як визначити напрямок дії сили Лоренца?
3. Чи обмінюються енергією з магнітним полем заряджені частинки, що рухаються в ньому?
4. Від чого залежить радіус кривизни траєкторії заряду, який рухається у магнітному полі?
5. Яка траєкторія руху електронів в електронно-променевої трубки?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельєв І.В. Курс общей фізики. – М.: Наука, 1997. – Т.2, 4.1, гл.5.

Вивчення магнітного поля соленоїда

Прилади і приладдя: 1) соленоїд; 2) реостат; 3) мілівеберметр; 4) амперметр; 5) вимірювальна котушка; 6) перемикачі; 7) джерело струму.

Мета роботи: 1) дослідження магнітного поля соленоїда; 2) визначення залежності магнітної індукції поля соленоїда від сили струму; 3) визначення залежності магнітної індукції поля соленоїда в різних точках осі соленоїда скінченної довжини.

Опис приладу і теоретичні відомості

Соленоїд представляє собою пристрій з провідника, який щільно намотаний на циліндричний каркас (рис. 1).

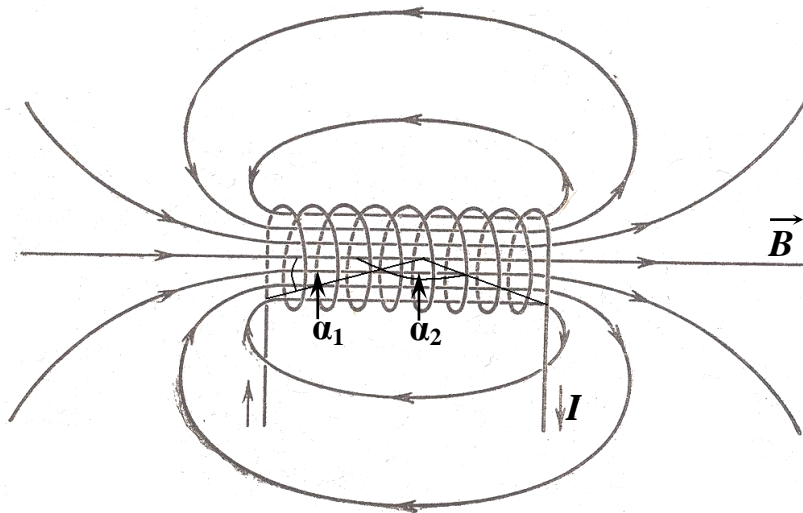


Рис. 1

При протіканні електричного струму через соленоїд в його середній частині магнітне поле спрямоване паралельно осі. Значення індукції B магнітного поля в будь-якій точці A осі соленоїда

$$B = \frac{\mu \cdot \mu_0}{2} nI (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \quad (1)$$

де α_1 і α_2 – кути, утворені з віссю соленоїда прямими, проведеними з точки A до країв соленоїда (рис. 1);

μ – магнітна проникність магнетика, що заповнює об'єм соленоїда; n – число витків, що приходяться на одиницю довжини соленоїда.

Індукцію магнітного поля довгого соленоїда приблизно можна обчислити за формулою:

$$B = \mu \cdot \mu_0 nI. \quad (2)$$

При цьому результат буде тим точніший, чим більша довжина соленоїда від його діаметра і чим ближче до середини соленоїда вибрана точка A . При набли-

женні до краю соленоїда один із кутів α_1 або α_2 прагне до $\frac{\pi}{2}$ й індукція магнітного поля зменшується.

Магнітне поле поза соленоїдом подібно полю смугового магніту (рис. 1).

Соленоїд з феромагнітним осердям у внутрішній порожнині представляє собою електромагніт.

Принципова електрична схема для виміру магнітного поля всередині соленоїда представлена на рис. 2. Для вивчення магнітного поля соленоїда 1 розташуємо на його осі вимірювальну котушку 2. Діаметр вимірювальної котушки – d_2 , число витків – ω_2 , площа одного витка – S_2 .

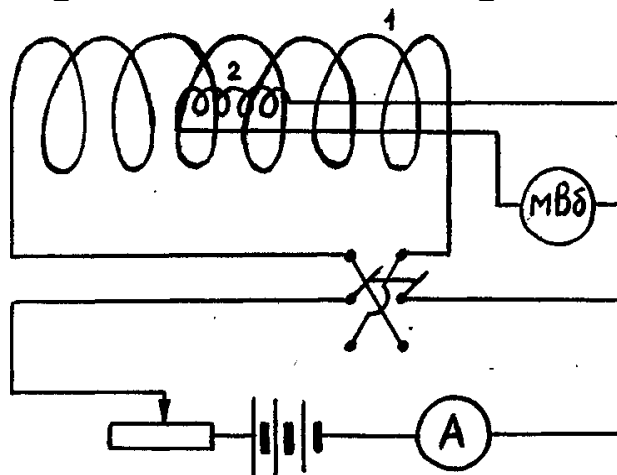


Рис. 2

Вимірювальну котушку 2 з'єднаємо з мілівеберметром. При зміні магнітного потоку, у вимірювальній котушці виникає електрорушійна сила індукції і через мілівеберметр проходить електричний струм.

Заряд, що пройшов через мілівеберметр, визначається за формулою

$$q = \frac{\omega_2 \Delta \Phi}{Z}, \quad (3)$$

де $\Delta \Phi$ – зміна магнітного потоку через поперечний переріз вимірювальної котушки 2; Z – повний опір вимірювального ланцюга.

За показниками мілівеберметра можна безпосередньо визначити зміну повного магнітного потоку, зчепленого з усіма витками вимірювальної котушки:

$$\Delta \Psi = \omega_2 \Delta \Phi = K_{\Phi} \Delta N, \quad (4)$$

де K_{Φ} – ціна поділки мілівеберметра; ΔN – кількість поділок, на яке відхилилась стрілка мілівеберметра.

Якщо замкнути коло живлення і пропустити через соленоїд постійний струм I , то протягом перехідного процесу струм зростає від нуля до I і магнітний потік, зчеплений з кожним витком вимірювальної котушки, зміниться на величину

$$\Delta \Phi = BS_2. \quad (5)$$

З формул (4) і (5) одержуємо величину магнітної індукції на осі соленоїда в області розташування вимірювальної котушки:

$$B = \frac{K_{\Phi} \cdot \Delta N}{\omega_2 S_2} . \quad (6)$$

За допомогою вимірів індукції магнітного поля соленоїда в різних точках на його осі і при різних струмах можна встановити залежності магнітної індукції від координати точки на осі соленоїда і магнітної індукції поля соленоїда від величини струму.

Вимірювання

1. Попередньо, вимкнувши всі перемикачі на панелі, підключити джерело живлення.

2. Замкнути перемикач на панелі та встановити величину струму за указівкою викладача (у межах $0,5 - 0,9 \text{ A}$), після чого цей перемикач розімкнути.

3. Перемикач мілівеберметра встановити в положення «КОРЕКТОР» і за допомогою ручки «КОРЕКТОР» стрілку приладу вивести на середину шкали (на цифру 5), а перемикач приладу перевести в положення «ВИМІР».

4. Вимірювальну котушку за допомогою маховичка встановити на середину соленоїда.

5. Записати максимальне середнє відхилення ΔN (у поділках) стрілки мілівеберметра від цифри 5 на шкалі для двох протилежних напрямів того самого струму.

6. Переміщуючи вимірювальну котушку вліво з кроком 4 см до кінця соленоїда, робити після кожного переміщення вимір відповідно до п.5 і записувати положення вимірювальної котушки щодо середини соленоїда. Поблизу краю соленоїда крок зменшити до 1 см.

7. Обчислити індукцію B магнітного поля соленоїда за формулою (6) для кожного виміру згідно з п.6. Результати вимірів і обчислень занести в табл. 1.

8. Установити вимірювальну котушку на середину шкали соленоїда або на будь-який інший поділ за вказівкою викладача.

9. Перемикач на приладі поставити в положення «ВИМІР». Реостатом установити величину струму $I = 0,2 \text{ A}$, перемикач на панелі перевести в середнє положення.

10. Провести виміри за п.5 і повторити їх для величин струму $0,3 - 0,6 \text{ A}$, струму, змінюючи його щораз на $0,1 \text{ A}$.

11. Обчислити індукцію B магнітного поля соленоїда для кожного виміру пункту 10 за формулою (6), результати вимірів і обчислень занести в табл. 2.

12. Побудувати графік залежності магнітної індукції поля соленоїда на осі $B = f(\ell)$ для даного значення величини струму і графік залежності магнітної індукції поля соленоїда від величини струму в ньому $B = f(I)$ для даного значення ℓ .

Таблиця 1

<i>№</i> <i>виміру</i>	<i>I,</i> <i>A</i>	<i>ℓ,</i> <i>м</i>	ΔN	<i>B,</i> <i>Тл</i>
1				
...				
...				
8				

Таблиця 2

<i>№</i> <i>виміру</i>	<i>I,</i> <i>A</i>	<i>ℓ,</i> <i>м</i>	ΔN	<i>B,</i> <i>Тл</i>
1				
...				
...				
8				

Контрольні питання

1. У чому принципове розходження в розрахунках індукції магнітного поля на осі соленоїда за формулами (1) і (6)?
2. Яка фізична величина називається магнітною індукцією?
3. У чому полягає явище електромагнітної індукції?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.:Техніка, 2001. – Т.2, розд.2.
2. Савельев И.В. Курс общей физики.– М.: Наука, 1997.- Т.2, 4.1, гл.5.

Літературний редактор:

Подп. до друку _____ Формат А5 Папір печат.

Усл. печат. лист. _____ Усл. изд. лист. _____ Тираж _____

Замовлення № _____

РІО НГУ Цех оперативної печатки