

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 51**

**ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОСІ СОЛЕНОЇДА**

**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 № 51

### Визначення магнітного поля на осі соленоїда

**Мета роботи:** вивчення просторового розподілу магнітного поля в соленоїді

**Прилади й матеріали:** лабораторна установка для визначення магнітного поля на осі соленоїда в залежності від координати

### Теоретичні відомості

Соленоїдом називається циліндричний навій, що складається з великої кількості витків проволочки, які утворюють гвинтову лінію. Соленоїд використовується для створення магнітного поля, величину якого можна змінювати шляхом зміни величини електричного струму в його обмотці. Якщо довжина соленоїда значно більша за його діаметр, напруженість магнітного поля всередині соленоїда (на значній відстані від торців) дорівнює

$$H = nI, \quad (1)$$

де  $n$  є щільність витків (кількість витків на 1 м довжини),  $I$  - сила струму в соленоїді. Рівняння (1) називається формулою для напруженості магнітного поля нескінченно довгого соленоїда. Одиницею вимірювання напруженості магнітного поля є А/м. Магнітне поле соленоїда кінцевої довжини можна знайти, виходячи з закону Біо-Савара-Лапласа. Напруженість магнітного поля на осі такого соленоїда дорівнює

$$H = \frac{nI}{2} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2), \quad (2)$$

де  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  - кути, під якими видно торці з даної точки осі (Рис.1).

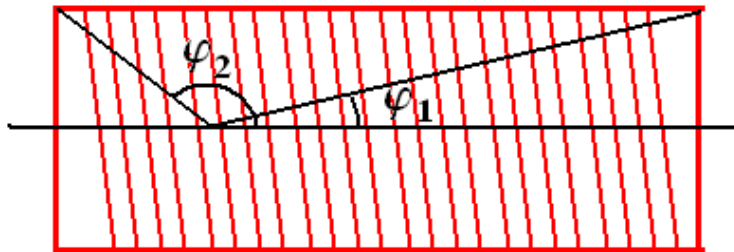


Рис. 1. Кути  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$ , під якими видно торці з даної точки на осі соленоїда.

Згідно з (2), напруженість магнітного поля найбільша в центрі соленоїда а поблизу торців його величина зменшується. Силкові лінії напруженості магнітного поля навколо соленоїда мають вигляд, показаний на Рис.2.

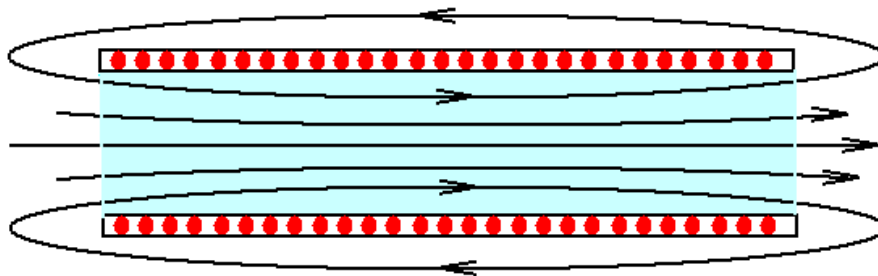


Рис. 2. Силкові лінії магнітного поля в соленоїді (соленоїд нарисований в розрізі)

В даній роботі вимірювання магнітного поля здійснюється за допомогою явища електромагнітної індукції. Явище електромагнітної індукції полягає в виникненні електричного струму в замкненому провіднику при зміні потоку магнітної індукції через контур, що утворює провідник. Такий струм називається індукційним. Явище електромагнітної індукції описується законом Фарадея. Закон Фарадея стверджує, що електрорушійна сила, яка спричинює індукційний струм (ЕРС електромагнітної індукції), дорівнює взятій з протилежним знаком швидкості зміни потоку вектора магнітної індукції через контур

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (3)$$

Потік вектора магнітної індукції в замкненому плоскому контурі в однорідному магнітному полі дорівнює

$$\Phi = BS \cos \phi, \quad (4)$$

де  $B$  - величина магнітної індукції,  $S$  - площа контуру,  $\phi$  - кут між вектором магнітної індукції і вектором нормалі к контуру. Магнітний потік вимірюється у Веберах (Вб).

Магнітна індукція зв'язана з напруженістю магнітного поля співвідношенням

$$B = \mu\mu_0 H, \quad (5)$$

де  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнітна стала,  $\mu$  - магнітна проникність середовища (для вакууму і повітря  $\mu = 1$ ). Магнітна індукція вимірюється у Теслах (Тл).

Потік вектора магнітної індукції через вимірювальний навій з  $N$  витками (потокозціплення навою) дорівнює

$$\Phi = BSN \cos \phi, \quad (6)$$

де  $S$  - площа поперечного перерізу навою,  $\phi$  - кут між вектором магнітної індукції і віссю навою.

### Опис установки

Установка зображена на рис 3. Вона містить два соленоїда (короткий соленоїд С1 і довгий соленоїд С2), гальванометр G (з шкалою S2), стержень з вимірювальним навоєм и шкалою S1, амперметр А, реостат R. Напруженість магнітного поля вимірюється на осі соленоїда С1 за допомогою вимірювального навою і гальванометра. Положення вимірювального навою на осі соленоїда змінюється при переміщенні стержня і контролюється за допомогою шкали S1. Заряд, що протікає через гальванометр, визначається за величиною відкидання «зайчика» по шкалі гальванометра S2. Соленоїд С2 і амперметр А використовуються для калібрування показників гальванометра (визначення коефіцієнта пропорційності між величиною відхилення «зайчика» і напруженістю магнітного поля. Перемикач К1 вмикає і вимикає електричний струм через навій соленоїда С1 чи С2 (в залежності від положення перемикача 2).

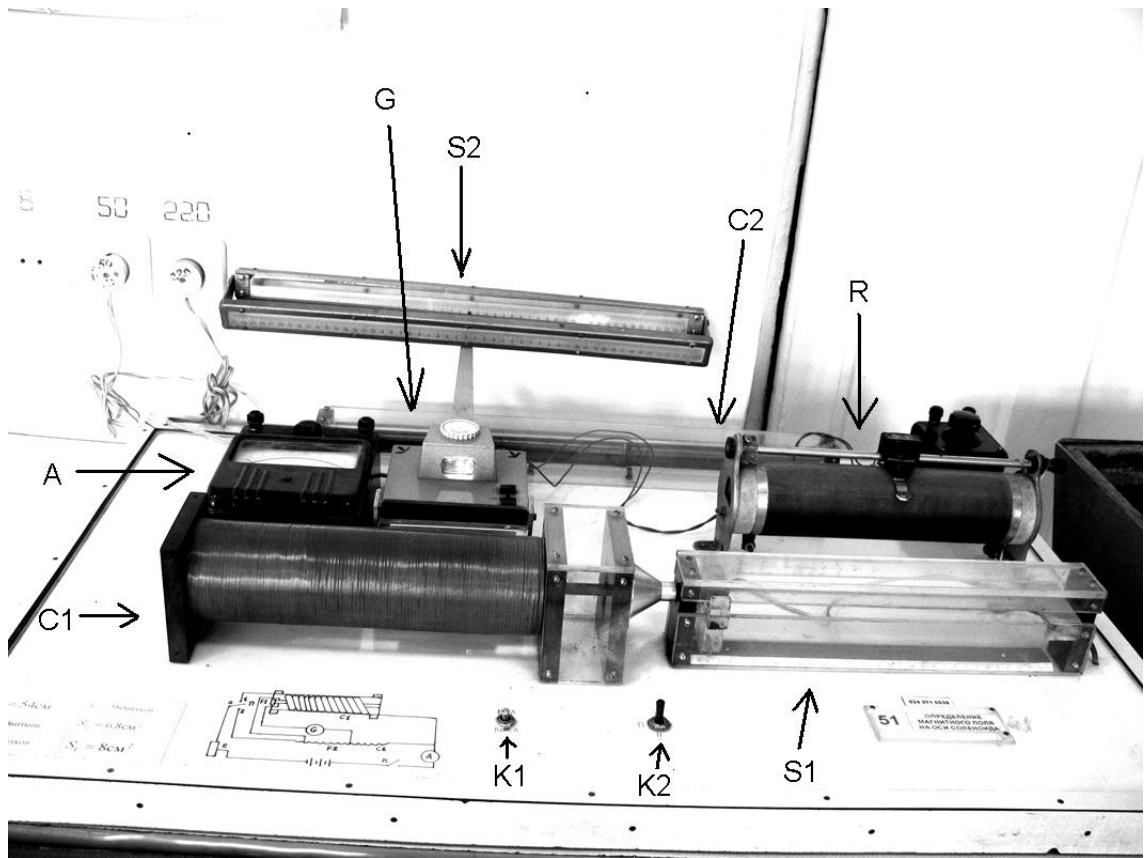


Рис. 3. Лабораторна установка.

### Робочі формули

Лабораторна установка зібрана таким чином, що напруженість магнітного поля  $H$  прямо пропорційна відхиленню «зайчика» гальванометра  $\alpha$ . Для вимірювання напруженості в абсолютних одиницях потрібно знайти коефіцієнт пропорційності.

В лабораторній установці вимірювальний навій в соленоїді  $C1$  з'єднаний в одне коло з вимірювальним навоєм в соленоїді  $C2$  і гальванометром. Згідно з законом Ома, струм через це коло дорівнює

$$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = -\frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt}, \quad (7)$$

де  $R$  є повний опір кола. Враховуючи зв'язок між струмом і зарядом  $I = dq/dt$ , знаходимо що величина заряду, яка протікає через гальванометр, дорівнює (за модулем)

$$q = \frac{\Phi}{R} \quad (8)$$

де  $\Phi$  є потік магнітного поля через вимірювальний навій при досягненні сили струму в соленоїді стаціонарного значення. Гальванометр працює таким чином, що відхилення «зайчика» гальванометра  $\alpha$  прямо пропорційне заряду  $q$ .

Для калібрування гальванометра (знаходження коефіцієнта пропорційності між  $H$  і  $\alpha$ ) треба зробити одне вимірювання при пропусканні струму через довгий соленоїд С2. В цьому випадку відхилення «зайчика»  $\alpha_2 \propto \Phi_2 = n_2 S_2 \mu_0 H_2$ , де  $n_2$  - кількість витків в вимірювальному навою в соленоїді С2,  $S_2$  - площа поперечного перерізу цього навою,

$$H_2 = \frac{I_2 N_2}{L_2} \quad (9)$$

- напруженість магнітного поля всередині довгого соленоїда, яка розрахована за формулою (1) ( $I_2$  - сила струму в обмотці соленоїда,  $N_2$  - кількість витків,  $L_2$  - довжина соленоїда). Якщо електричний струм подано на короткий соленоїд С1, то відхилення «зайчика»  $\alpha_1 \propto \Phi_1 = n_1 S_1 \mu_0 H_1$ , де  $n_1$  - кількість витків в вимірювальному навою в соленоїді С1,  $S_1$  - площа поперечного перерізу цього навою,  $H_1$  - напруженість магнітного поля на осі короткого соленоїда. Складаємо пропорцію

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= n_1 S_1 H_1 \\ \alpha_2 &= n_2 S_2 H_2 \end{aligned} \quad (10)$$

З пропорції випливає, що

$$H_1 = \frac{n_2 S_2 H_2 \alpha_1}{n_1 S_1 \alpha_2} \quad (11)$$

або, з урахування (9),

$$H_1 = \eta \alpha_1, \quad (12)$$

де

$$\eta = \frac{n_2 S_2 N_2 I_2}{n_1 S_1 L_2 \alpha_2} \quad (13)$$

є шуканий коефіцієнт пропорційності.

### Послідовність виконання роботи

1. За допомогою регулятора на гальванометрі встановити нуль гальванометра (положення «зайчика» на шкалі S2).
2. Перемкнути перемикач К2 у положення II, а перемикач К1 у положення «вкл».
3. За допомогою реостата R встановити струм  $I_2$  через соленоїд С2 в діапазоні 0,5÷1 А. Записати встановлене значення струму (сила струму вимірюється амперметром А).
4. Вимкнути ключ К1. Заміряти величину відхилення «зайчика» гальванометра в момент вимкнення (відхилення заміряти по модулю, в см, з точністю до 0,1 см). Увімкнути ключ К1. Заміряти величину відхилення «зайчика» гальванометра в момент увімкнення. Знайти середнє значення модуля відхилення  $\alpha_2$  при вмиканні і вимиканні К1.
5. Перемкнути перемикач К2 у положення I

6. Переміщуючи стержень, встановити покажчик на шкалі S2 по черзі в положення  $x = 0$  см , 3 см, 6 см і так далі через 3 см. Вмикаючи і вимикаючи ключ K1, знайти середнє значення модуля відхилення  $\alpha_1$  для кожного  $x$  . Дані занести в таблицю.
7. Використовуючи дані, що приведено на панелі установки, а також, дані, одержані в пп. 3.4, розрахувати коефіцієнт пропорційності  $\eta$  .
8. З даних, одержаних в п.6, розрахувати напруженість магнітного поля для усіх  $x$  . Результати занести в таблицю.
9. На підставі результатів п.8 побудувати графік залежності напруженості магнітного поля  $H_1$  від координати  $x$
10. Розрахувати відносну і абсолютну похибку.

### Звіт про виконану роботу

1. Робоча формула для визначення коефіцієнта пропорційності

$$\eta =$$

2. Дані, що приведені на панелі установки.

Число витків соленоїда С2  $N_2 =$

Довжина соленоїда С2  $L_2 =$  (м)

Число витків вимірювального навою 1  $n_1 =$

Число витків вимірювального навою 2  $n_2 =$

Площа поперечного перерізу вимірювального навою 1  $S_1 =$  (м<sup>2</sup>)

Площа поперечного перерізу вимірювального навою 2  $S_2 =$  (м<sup>2</sup>)

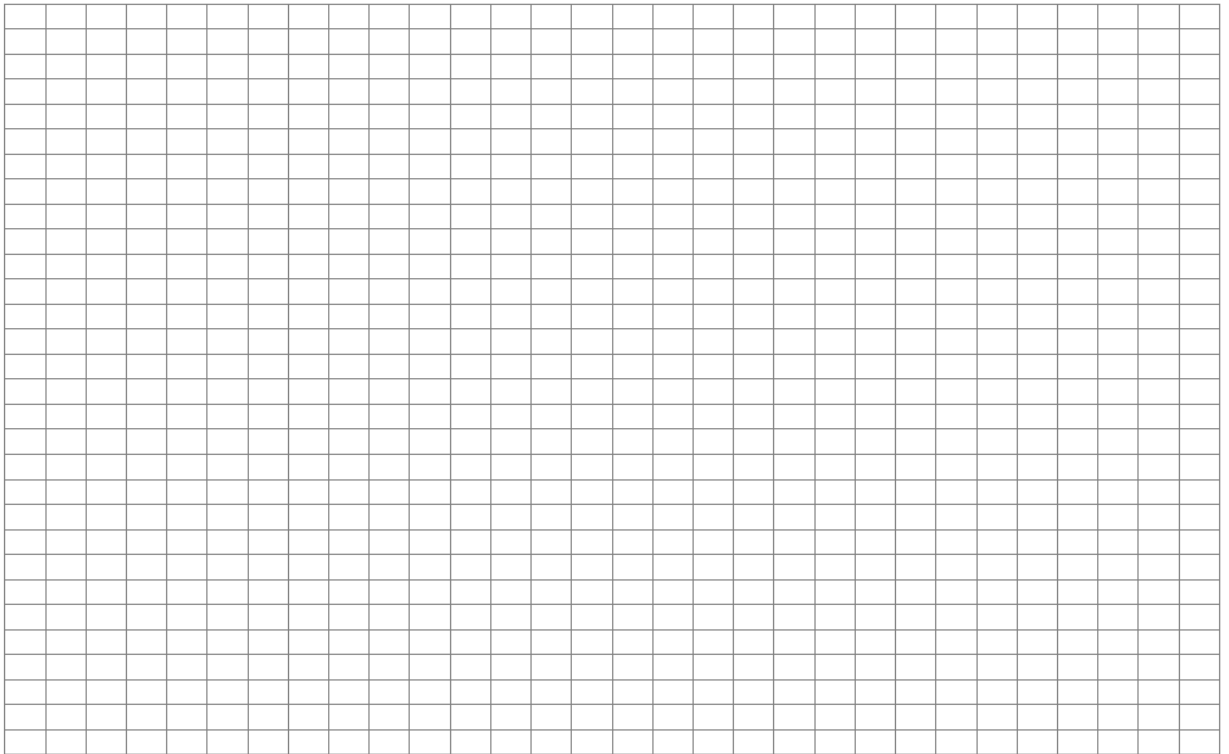
3. Результаті калібрувального вимірювання.

Сила струму  $I_2 =$  (А)

Відхилення «зайчика» гальванометра  $\alpha_2 =$  (см)



6. Графік залежності  $H_1(x)$



7. Визначення відносної і абсолютної похибки.

Відносна похибка величини (12) розраховується за формулою

$$\frac{\Delta H_1}{H_1} = \frac{\Delta \alpha_1}{\alpha_1} + \frac{\Delta \eta}{\eta} \quad (14).$$

Згідно з (13)

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \frac{\Delta I_2}{I_2} + \frac{\Delta \alpha_2}{\alpha_2} \quad (15)$$

Таким чином,

$$\frac{\Delta H_1}{H_1} = \frac{\Delta \alpha_1}{\alpha_1} + \frac{\Delta \alpha_2}{\alpha_2} + \frac{\Delta I_2}{I_2}.$$

Абсолютна похибка  $\Delta \alpha_1$  і  $\Delta \alpha_2$  складає 0,1 см.

Абсолютна похибка  $\Delta I_2$  визначається класом точності амперметра і діапазоном вимірювання.

$n_I =$

$I_{\max} =$



$$\Delta I_2 = \frac{n_I I_{\max}}{100} =$$

Відносна (в процентах) і абсолютна похибка в центрі соленоїда ( $x = 15$  см) складають

$$\varepsilon = \frac{\Delta H_1}{H_1} \cdot 100\% =$$

$$\Delta H_1 = \frac{\varepsilon}{100\%} H_1 =$$

Відносна (в процентах) і абсолютна похибка на торці соленоїда ( $x = 0$  см) складають

$$\varepsilon = \frac{\Delta H_1}{H_1} \cdot 100\% =$$

$$\Delta H_1 = \frac{\varepsilon}{100\%} H_1 =$$

### Контрольні запитання

1. Написати формулу для розрахунку напруженості магнітного поля в нескінченно довгому соленоїді, соленоїді кінцевої довжини. Пояснити позначення. В яких одиницях вимірюється напруженість магнітного поля? Де напруженість магнітного поля соленоїда є більшою: всередині чи на торці?
2. Написати зв'язок між напруженістю магнітного поля і магнітною індукцією в вакуумі, довільному середовищі. В яких одиницях вимірюється напруженість магнітного поля?
3. Чим відрізняються силові лінії магнітного поля від силових ліній електростатичного поля? Нарисувати силові лінії магнітного поля навколо соленоїда.
4. Що таке соленоїд? Для чого він використовується?
5. Чому дорівнює магнітний момент соленоїда? Написати зв'язок між магнітним моментом контуру зі струмом і механічним моментом, що діє на контур зі сторони зовнішнього магнітного поля.

6. В чому полягає явище електромагнітної індукції? Записати закон Фарадея для ЕРС електромагнітної індукції. Пояснити позначення.
7. Що називається потоком магнітної індукції через контур? В яких одиницях вимірюється потік вектора магнітної індукції? Нехай магнітне поле є однорідним. Чому дорівнює магнітний потік через плоский контур, навій з  $N$  витками?
8. Чому змінюється магнітний потік через вимірювальний навій в даній роботі?