

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 55

**ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ І МАГНІТНОЇ
ПРОНИКНОСТІ ФЕРОМАГНЕТИКУ**

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 № 55

Дослідження магнітної індукції і магнітної проникності феромагнетика

Мета роботи: вивчення кривої намагніченості феромагнетика і залежності магнітної проникності феромагнетика від напруженості магнітного поля.

Прилади й матеріали: лабораторна установка для вимірювання магнітної індукції в феромагнетик в залежності від напруженості магнітного поля

Теоретичні відомості

По своїм магнітним властивостям речовини розділяються на діамагнетики, парамагнетики і феромагнетики. Феромагнетики характеризуються великим значенням **магнітної проникності** (відношення магнітної індукції в речовині до індукції в вакуумі при тому ж самому значенні напруженості магнітного поля). Магнітна проникність μ феромагнетика не є сталою, а залежить від напруженості магнітного поля. Відповідно, магнітна індукція $B = \mu\mu_0 H$ нелінійно залежить від напруженості магнітного поля.

Нелінійність зв'язана з особливостями процесу намагнічування феромагнетика. Феромагнетик в ненамагніченому стані розбивається на домени – області, в яких речовина намагнічена до насичення. При цьому магнітні моменти різних доменів орієнтовані рівноправно в усіх напрямках і сумарна намагніченість дорівнює нулю. Зовнішнє магнітне поле приведе до 1) зміщення границь доменів і росту розмірів тих доменів, вектори намагніченості яких складають з напрямком зовнішнього магнітного поля гострий кут; 2) повороту магнітних моментів доменів у напрямку зовнішнього магнітного поля. Після того, як всі домени орієнтуються по полю, подальше зростання намагніченості зупиняється (досягається насичення).

В даній роботі досліджується магнітна індукція і магнітна проникність заліза. Використовується **тороїд** (навіть в формі тора), всередину якого поміщено залізний сердечник. Магнітні силові лінії в торі мають форму замкнених кіл, які розташовано всередині тороїда. Зовні тороїда магнітне поле дорівнює нулю. Згідно з **теоремою про циркуляцію напруженості магнітного поля** (циркуляція напруженості магнітного поля по контуру дорівнює алгебраїчній сумі струмів, які пронизують контур) напруженість магнітного поля в тороїді дорівнює

$$H_2 = \frac{N_2 I_2}{2\pi R} \quad (1)$$

де N_2 - число витків тороїда, I_2 - сила струму в тороїді, R - відстань від головної осі тороїда до точки спостереження.

В роботі для калібрування гальванометра використовується довгий соленоїд, який можна розглядати як нескінченно довгий. Згідно з теоремою про циркуляцію напруженості магнітного поля, напруженість магнітного поля в довгому соленоїді дорівнює

$$H_1 = \frac{N_1 I_1}{L_1} \quad (2)$$

де N_1 - число витків в соленоїді, I_1 - сила струму в соленоїді, L_1 - довжина соленоїда.

В даній роботі вимірювання магнітної індукції здійснюється на основі 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. Згідно з законом Фарадея, електрорушійна сила, яка спричинює індукційний струм (ЕРС електромагнітної індукції), дорівнює взятої з протилежним знаком швидкості зміни потоку 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, ϕ - кут між вектором магнітної індукції і вектором нормалі к контуру. Магнітний потік вимірюється у Веберах (Вб).

Потік вектора магнітної індукції через вторинну обмотку на тороїді дорівнює

$$\Phi_2 = BS_2 n_2, \quad (5)$$

де S_2 - площа поперечного перерізу тороїду, n_2 - число витків вторинної обмотки тороїда. На довгому соленоїду також є вторинна обмотка. Потік вектора магнітної індукції через цю обмотку дорівнює

$$\Phi_1 = \mu_0 H_1 S_1 n_1, \quad (6)$$

де S_1 - площа поперечного перерізу соленоїду, n_1 - число витків вторинної обмотки соленоїда, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м - магнітна стала,

Опис установки

Установка зображена на рис 1. Вона містить тороїд Т, довгий соленоїд С, гальванометр G (з шкалою S), амперметри A1 і A2 і реостат R. Тороїд і соленоїд мають первинну обмотку, на яку подається електричний струм. Сила струму вимірюється міліамперметром A1 (в діапазоні до 100 мА), чи амперметром A2 (в діапазоні більше 100 мА). Реостат R дозволяє змінювати силу струму. Перемикач K1 дозволяє перейти з режиму, коли струм подається на соленоїд, до режиму, коли струм подається на тороїд. Перемикач K2 вмикає і вимикає електричний струм через первинну обмотку соленоїда (тороїда), в залежності від положення перемикача K1. Перемикач K3 призначений для перемикачання між міліамперметром і амперметром. Магнітна індукція в тороїді (соленоїді) вимірюється за допомогою гальванометра G з шкалою S.

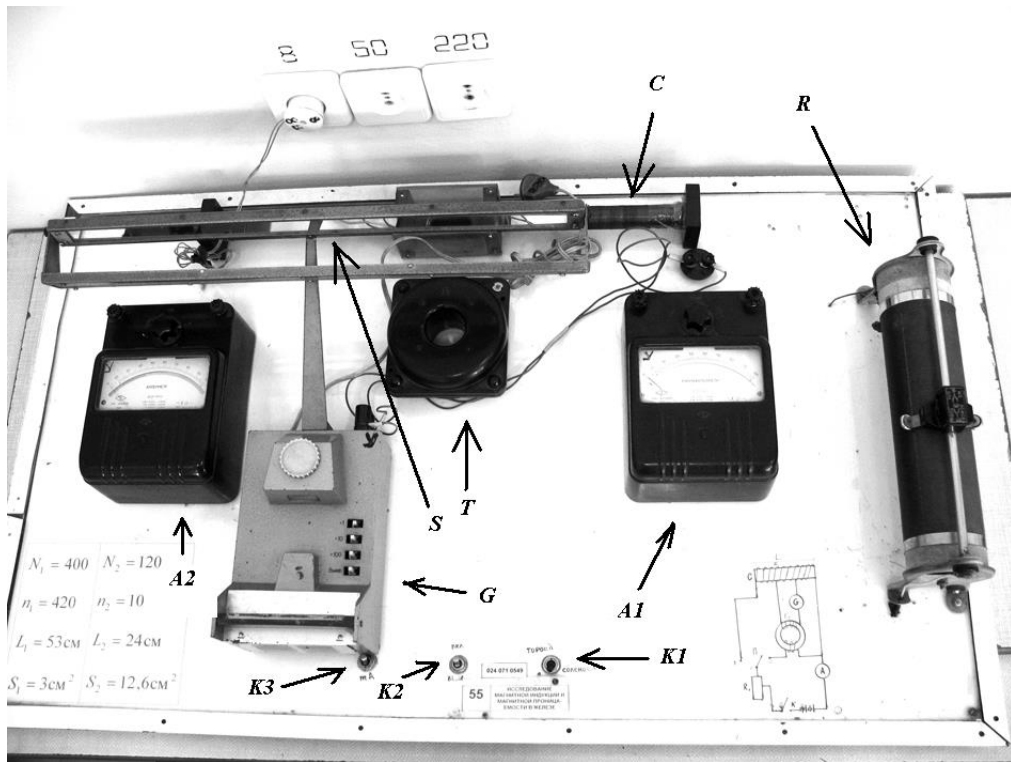


Рис. 1. Лабораторна установка.

Робочі формули

Лабораторна установка зібрана таким чином, відхилення «зайчика» гальванометра β прямо пропорційно магнітній індукції B в тороїді. Для вимірювання магнітної індукції в абсолютних одиницях потрібно знайти коефіцієнт пропорційності.

Гальванометр з'єднаний з вторинними обмотками тороїда і соленоїда в послідовний електричний ланцюг. Згідно з законом Ома, струм через цій ланцюг 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)

$$q = \frac{\Phi_2}{R} \quad (8)$$

де Φ_2 є потік магнітного поля через вторинну обмотку тороїда при досягненні сили струму стаціонарного значення. Гальванометр працює таким чином, що відхилення «зайчика» гальванометра прямо пропорційне заряду q .

Для калібрування гальванометра (знаходження коефіцієнта пропорційності між B і β треба зробити одне вимірювання при пропусканні струму через довгий соленоїд. В цьому випадку відхилення «зайчика» прямо пропорційно потоку вектора магнітної індукції через вторинну обмотку довгого соленоїда: $\alpha \propto \Phi_1 = n_1 S_1 \mu_0 H_1$, де n_1 - кількість витків в вторинній

обмотці соленоїда С, S_1 - площа перерізу соленоїда, H_1 - напруженість магнітного поля всередині довгого соленоїда (2) (в (2) I_1 - сила струму в первинній обмотці соленоїда). Якщо електричний струм подано на тороїд Т, то відхилення «зайчика» $\beta \propto \Phi_2 = n_2 S_2 B$, де n_2 - кількість витків вторинної обмотки, S_2 - площа перерізу тороїду. Складаємо пропорцію

$$\begin{aligned} \alpha &= n_1 S_1 H_1 \\ \beta &= n_2 S_2 B \end{aligned} \quad (9)$$

З пропорції випливає, що

$$B = \frac{n_1 S_1 H_1 \beta}{n_2 S_2 \alpha} \quad (10)$$

або, з урахування (2),

$$B = \eta \beta, \quad (11)$$

де

$$\eta = \frac{n_1 S_1 \mu_0 N_1 I_1}{n_2 S_2 L_1 \alpha} \quad (12)$$

є шуканий коефіцієнт пропорційності.

Якщо в тороїді магнітний сердечник був би відсутнім, то магнітна індукція в середині тороїду дорівнювала

$$B_0 = \mu_0 H_2 = \frac{\mu_0 N_2 I_2}{L_2} \quad (13)$$

де L_2 - довжина сердечника тороїда. Формулу (13) запишемо у вигляді

$$B_0 = k I_2 \quad (14)$$

де

$$k = \frac{\mu_0 N_2}{L_2} \quad (15)$$

є коефіцієнт пропорційності між струмом і магнітної індукцією в вакуумі. Магнітна проникність матеріалу сердечника тороїда визначається за формулою

$$\mu = \frac{B}{B_0} \quad (16)$$

Послідовність виконання роботи

1. За допомогою регулятора на гальванометрі встановити нуль гальванометра (положення «зайчика» на шкалі S).
2. Переключити перемикач К1 у положення «соленоїд», а перемикач К2 у положення «вкл».
3. За допомогою реостата R встановити струм I_1 через соленоїд С в діапазоні 0,3÷0,5 А. Записати встановлене значення струму (сила струму вимірюється амперметром А2, ключ К3 в положенні А).

4. Вимкнути ключ К2. Заміряти величину відхилення «зайчика» гальванометра в момент вимкнення (відхилення заміряти по модулю, в см, з точністю до 0,1 см). Увімкнути ключ К2. Заміряти величину відхилення «зайчика» гальванометра в момент увімкнення. Знайти середнє значення модуля відхилення α при вмиканні і вимиканні К2.
5. Переключити перемикач К1 у положення «тороїд», а перемикач К2 у положення «вкл».
6. За допомогою реостата встановити сили струму 20 мА (сила струму вимірюється міліамперметром А1, ключ К3 в положенні мА)
7. Вимкнути ключ К2. Заміряти величину відхилення «зайчика» гальванометра в момент вимкнення (відхилення заміряти по модулю, в см, з точністю до 0,1 см). Увімкнути ключ К2. Заміряти величину відхилення «зайчика» гальванометра в момент увімкнення. Знайти середнє значення модуля відхилення β при вмиканні і вимиканні К2.
8. Повторити пп. 5-7 для значень струму 30 мА, 40 мА, 50 мА, 60 мА, 70 мА, 80 мА, 90 мА.
9. Переключити ключ К3 в положення А. Далі сила струму буде вимірюватись амперметром А2 .
10. Повторити пп. 5-7 для значень струму 200 мА, 300 мА, 400 мА,
11. Одержані значення β занести в таблицю.
12. Використовуючи дані, що приведено на панелі установки, а також, дані, одержані в пп. 3.4, розрахувати коефіцієнт пропорційності η , а також коефіцієнт пропорційності k .
13. Для кожного значення I_2 розрахувати величини B_0 , B і μ . Результати занести в таблицю.
14. Побудувати графік залежності магнітної індукції в феромагнетикі B від напруженості магнітного поля в вакуумі B_0
15. Побудувати графік залежності магнітної проникності феромагнетикі μ від напруженості магнітного поля в вакуумі B_0
16. Розрахувати відносну і абсолютну похибку.

Звіт про виконану роботу

1 Робоча формула для визначення магнітної індукції в феромагнетикі

$$\underline{B =}$$

коефіцієнт пропорційності

$$\eta =$$

2 Робоча формула для визначення магнітної індукції в вакуумі

$$\underline{B_0 =}$$

коефіцієнт пропорційності

$$k =$$

3 Дані, що приведені на панелі установки.

Число витків первинної обмотки соленоїда $N_1 =$

Довжина соленоїда $L_1 =$ (м)

Число витків вторинної обмотки соленоїда $n_1 =$

Площа поперечного перерізу соленоїда $S_1 =$ (м²)

Число витків первинної обмотки тороїда $N_2 =$

Довжина сердечника тороїда $L_2 =$ (м)

Число витків вторинної обмотки тороїда $n_2 =$

Площа поперечного перерізу тороїда $S_2 =$ (м²)

4 Результаті калібрувального вимірювання.

Сила струму $I_1 =$ (А)

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

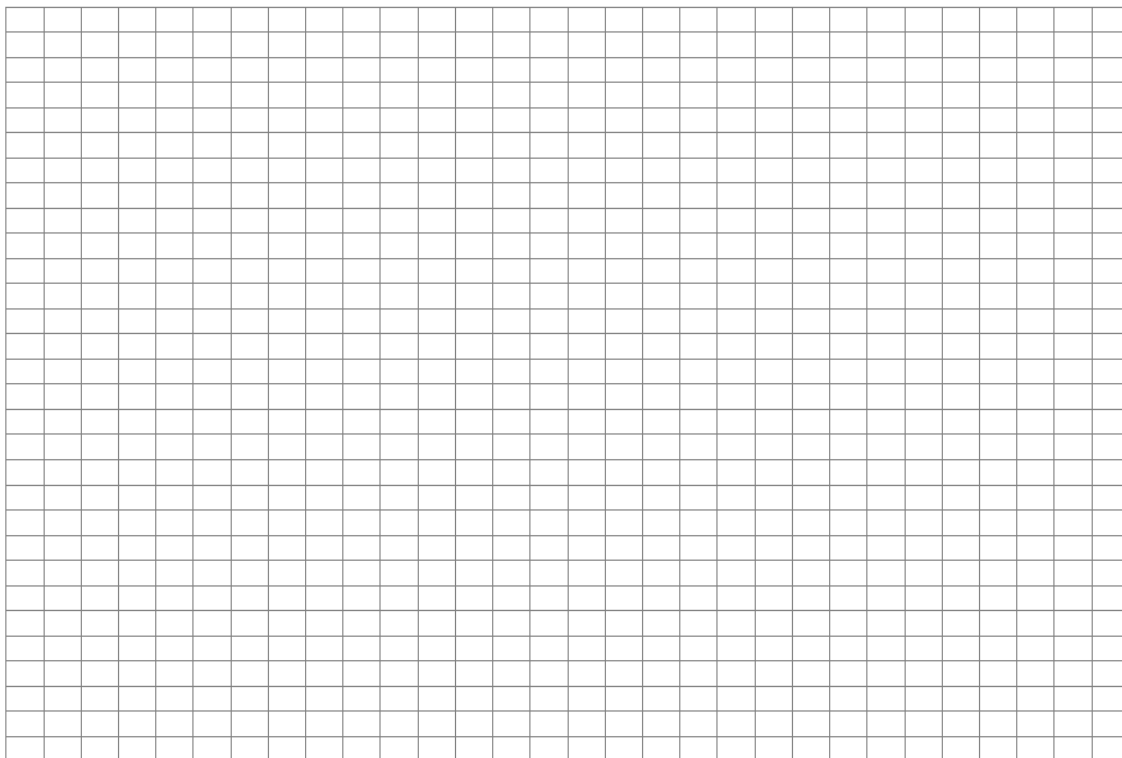
5 Розрахунок коефіцієнта пропорційності k

6 Розрахунок коефіцієнта пропорційності η

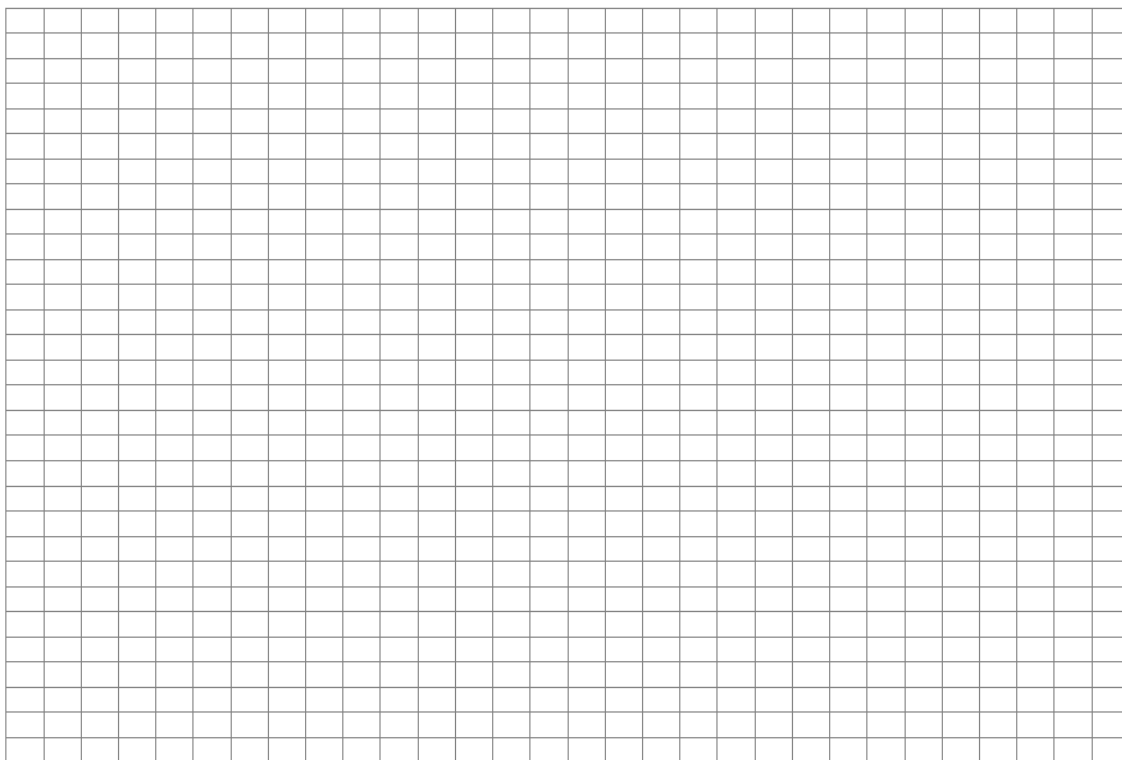
7 Результати експерименту і розрахунків B_0 , B , і μ .

$I_2, 10^{-3} \text{ A}$	$\beta, \text{ см}$	$B_0 = kI_2$	$B = \eta\beta$	$\mu = B/B_0$
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				
200				
300				
400				

8 Графік залежності $B(B_0)$



9 Графік залежності $\mu(B_0)$



10 Визначення відносної і абсолютної похибки.

В даній роботі потрібно розрахувати похибку магнітної проникності при максимальному магнітному полі (яке відповідає струму $I_2 = 400$ мА).

Відносна похибка величини (16) розраховується за формулою

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta B_0}{B_0} \quad (17).$$

Згідно з (11)

$$\frac{\Delta B}{B} = \frac{\Delta\eta}{\eta} + \frac{\Delta\beta}{\beta} \quad (18)$$

Згідно з (12)

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{\Delta I_1}{I_1} + \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \quad (19)$$

Згідно з (14)

$$\frac{\Delta B_0}{B_0} = \frac{\Delta I_2}{I_2} \quad (20)$$

Таким чином,

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{\Delta I_1}{I_1} + \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta\beta}{\beta} + \frac{\Delta I_2}{I_2}.$$

При розрахунках беремо значення $I_2 = 400$ мА, а також величини β і μ при цьому струмі (останній рядок таблиці)

Абсолютні похибки $\Delta\alpha$ і $\Delta\beta$ складає 0,1 см.

Абсолютні похибки ΔI_1 і ΔI_2 однакові і визначаються класом точності амперметра і діапазоном вимірювання.

$n_I =$

$I_{\max} =$

$$\Delta I_1 = \Delta I_2 = \frac{n_I I_{\max}}{100} =$$

Відносна (в процентах) і абсолютна похибка

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

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

Контрольні запитання

1. Що називається магнітною проникністю речовини? Записати зв'язок між магнітною індукцією і напруженістю магнітного поля в речовині.
2. Які характерні властивості магнітної проникності феромагнетика?
3. Які речовини називаються феромагнетиками? Що називається температурою Кюрі?
4. Що таке магнітні домени? Як відбувається процес намагнічування феромагнетика?
5. Нарисувати основу криву намагніченості феромагнетика. Показати на цій кривій намагніченість насичення. Пояснити, чому досягається насичення.
6. Написати формули для розрахунку напруженості магнітного поля і магнітної індукції тороїда і довгого соленоїда. В якій одиницях вимірюється напруженість магнітного поля і магнітна індукція?
7. Що називається потоком вектора магнітної індукції? В яких одиницях вимірюється потік вектора магнітної індукції?
8. В чому полягає явище електромагнітної індукції? Записати закон Фарадея для ЕРС електромагнітної індукції. Пояснити, де в даній роботі використовується явище електромагнітної індукції.