

Лабораторна робота № 3.49 Вивчення магнітного поля соленоїда

Прилади: 1) соленоїд; 2) реостат; 3) мілівеберметр з вимірювальною котушкою; 4) амперметр; 5) перемикачі; 6) джерело струму.

Мета роботи: 1) дослідження магнітного поля соленоїда за допомогою веберметра; 2) визначення залежності магнітної індукції поля в центрі соленоїда від сили струму; в різних точках осі соленоїда від відстані до центра.

Теоретичний вступ

Силову характеристикою магнітного поля є вектор магнітної індукції \mathbf{B} . Якщо в магнітне поле помістити плоску рамку зі струмом дуже малих розмірів, то поле повертає рамку і орієнтує її в певному напрямку.

Відношення максимального обертового моменту до добутку сили струму I на площу контура S характеризує магнітне поле в тому місці, де розміщений контур. Це відношення приймають за модуль B вектора магнітної індукції:

$$B = \frac{M_{\max}}{IS} \quad (1)$$

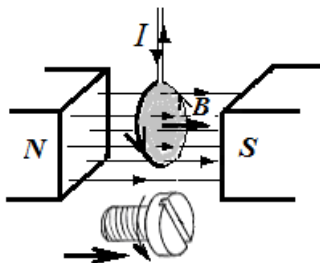


Рис. 1.

За напрям вектора \mathbf{B} приймають той напрям, в якому буде переміщатися гвинт з правою нарізкою, якщо обертати його у напрямі струму в рамці

В СІ одиниця B називається **тесла** (Тл) (названа на честь сербсько - американського винахідника і фізика Н.Тесла)

Соленоїдом називається ізольований провідник, що намотаний по гвинтовій

лінії на циліндричний каркас. Якщо довжина соленоїда набагато більше його діаметра, соленоїд вважається нескінченно довгим. Кожен з витків соленоїда є круговим струмом, що створює в центрі магнітне поле, спрямоване по осі витка. Очевидно, так само буде направлено і магнітне поле на осі соленоїда.

Експериментальне вивчення магнітного поля соленоїда показує, що всередині соленоїда поле є однорідним і направлено паралельно осі, поза соленоїдом - неоднорідним і дуже слабким.

Лінії магнітного поля соленоїда показані на рис. 2. У середині соленоїда напрямком ліній утворює з напрямком струму правогвинтову систему.

Строга теорія дозволяє приблизно обчислити магнітну індукцію B поля соленоїда скінченої довжини в залежності від сили струму в ньому та його геометричних розмірів. Для так званого уявного нескінченно довгого соленоїда формули спрощуються.

$$B = \mu_0 n I \quad (2)$$

Тут $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м - магнітна стала, n - кількість витків соленоїда, що припадають на одиницю його довжини. I - сила струму в соленоїді.

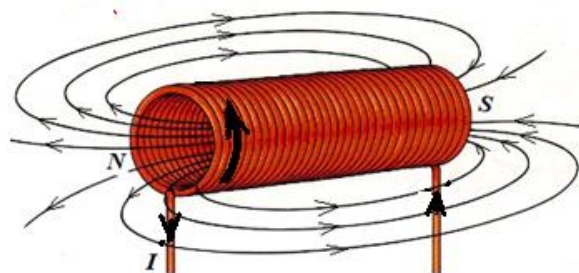


Рис. 2

Потоком вектора \vec{B} магнітної індукції (або магнітним потоком) через малу площадку dS називається фізична величина, що дорівнює добуткові магнітної індукції B на площу dS поверхні та на косинус кута α між вектором магнітної індукції і нормаллю до поверхні (рис. 3):

$$d\Phi = B dS \cos \alpha. \quad (3)$$

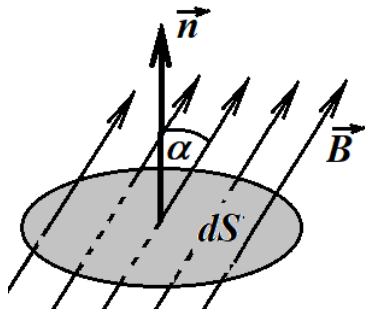


Рис.3.

В СІ одиниця магнітного потоку називається **вебер** (Вб) (названа на честь німецького фізика В. Вебера).

Вимірювання магнітної індукції \vec{B} можна проводити **індукційним методом**. Він полягає в тому, що в магнітне поле, яке досліджується, поміщують допоміжну котушку - зонд. Безпосередньо вимірюються не сама магнітна індукція, а ЕРС індукції, яка збуджується у **вимірювальній** допоміжній котушці при зміні магнітного поля.

Прилад для вимірювання магнітного потоку, дія якого ґрунтується на індукційному методі, називається **веберметром**.

Принципова електрична схема для виміру магнітної індукції всередині соленоїда представлена на рис. 4.

Коли струм намагнічування в соленоїді зростає від нуля до деякого значення I (або навпаки, зменшується), вимірювальну котушку веберметра пронизує змінний магнітний потік, що зростає від нуля до деякого значення Ψ_2 (або спадає). У вимірювальній котушці веберметра виникає індукційний струм. Стрілка веберметра відхиляється на деякий кут, пропорційний зміні магнітного потоку $\Delta\Psi_2$.

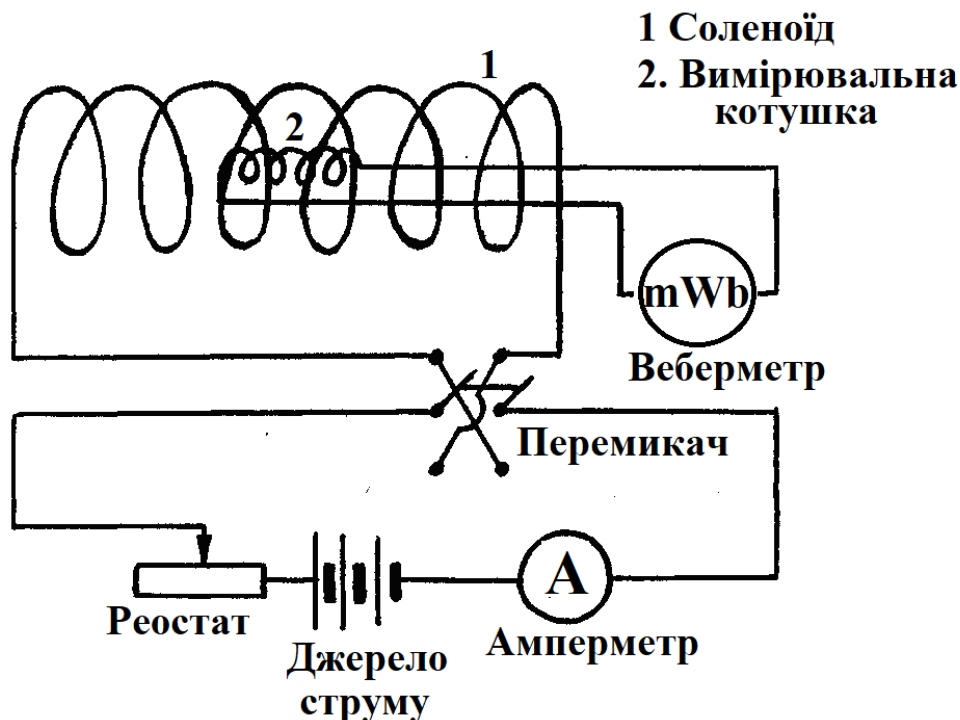


Рис. 4.

Кут між напрямками вектора \vec{B} (по осі соленоїда) і нормаллю до площини витка вимірювальної котушки становить $\alpha = 0$ (або 180°). Тому $\cos 0 = 1$ і магнітний потік крізь поверхню S_2 , яку охоплює один виток вимірювальної котушки згідно з (3) становить

$$\Phi_2 = B \cdot S_2, \quad (4)$$

(індекс 2 пов'язаний з вимірювальною котушкою, див. рис. 4). А повний потік крізь усі w_2 штук витків вимірювальної котушки дорівнює

$$\Psi_2 = \Phi_2 w_2 = B S_2 w_2. \quad (5)$$

Якщо пропустити через соленоїд постійний струм, то за час, коли струм зростає від нуля до I , магнітний потік, зчеплений з вимірювальною котушкою, зміниться саме на таку величину

$$\Delta\Psi = \Psi_2 \text{ кінцеве} - \Psi_2 \text{ початкове} = \Delta\Psi_2 = B S_2 w_2, \quad (6)$$

оскільки потік Ψ_2 на початку імпульсу дорівнював нулю.

З іншого боку, за показаннями веберметра така зміна магнітного потоку становить

$$\Delta\Psi_2 = K_\phi \Delta N. \quad (7)$$

Тут K_ϕ – ціна поділки веберметра; ΔN – кількість поділок шкали, на яку відхилилась стрілка веберметра.

Прирівнюючи (6) та (7), отримаємо робочу формулу для визначення магнітної індукції

$$B = \frac{K_\phi \Delta N}{w_2 S_2}. \quad (8)$$

Якщо підставити в формулу (8) параметри даної установки, отримаємо більш зручний вигляд **робочої формули**:

$$B = C_0 \cdot \Delta N \dots \dots \dots (9)$$

де $C_0 = 10^{-4}$ Тл/под. – стала для даної установки.

Прилади та їх розміщення показані на фото 1.

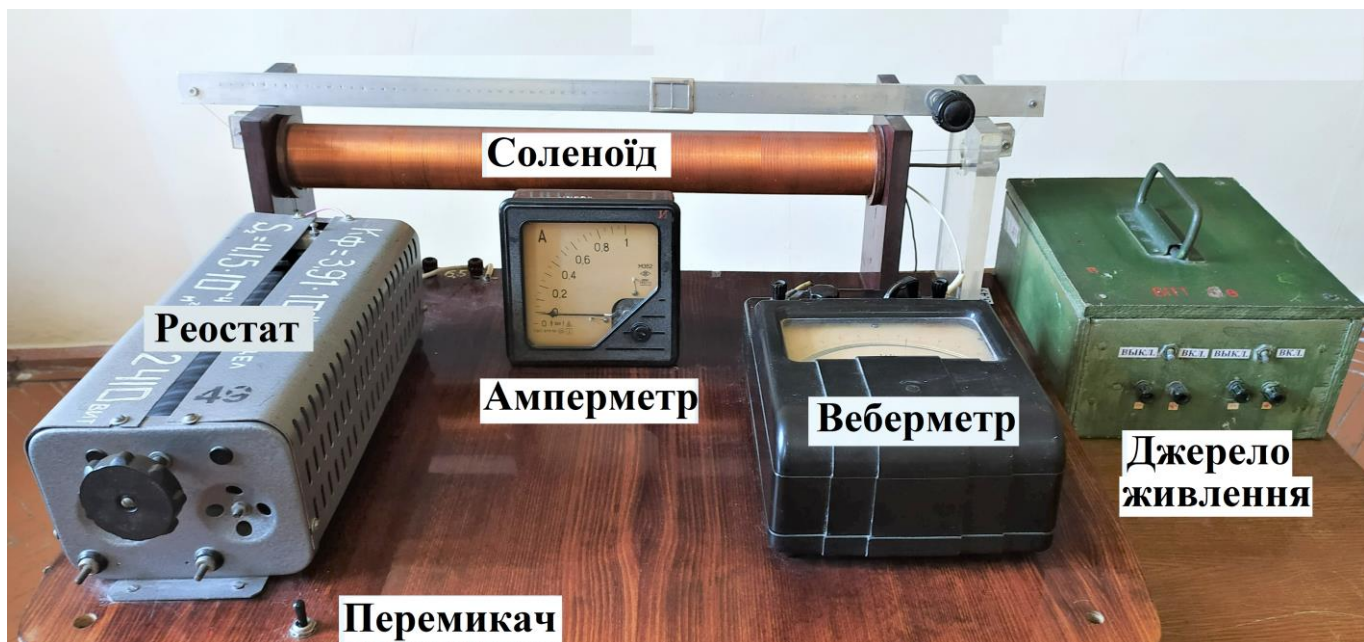


Фото.1.

Опис приладів.

Перемикач зліва внизу на панелі приладів має три положення.

- Вертикально вгору, посередині – все відключено, нейтральне положення, нуль.
- Уперед до реостату – включене коло струму: джерело – реостат – соленоїд - амперметр.
- Назад від реостату - включене коло струму: джерело – реостат – соленоїд - амперметр, але протилежний напрям струму.

Веберметр - це прилад магнітоелектричної системи з градуйованою шкалою для вимірювання магнітного потоку. Вимірювальний механізм веберметра відрізняється від звичайних магнітоелектричних механізмів тим, що в нього відсутні протидіючі пружини.

У веберметрі між полюсами нерухомого постійного магніту розміщується рамка. До рамки веберметра приєднується вимірювальна котушка-зонд, яку поміщають у досліджуване магнітне поле.

Коли деяке магнітне поле (наприклад, всередині соленоїда) змінюється, вимірювальну котушку веберметра пронизує змінний магнітний потік. У вимірювальній котушці і рамці веберметра виникає індукційний струм. *Рамка, а з нею стрілка веберметра відхиляються на деякий кут, пропорційний значенню магнітного потоку Ψ .*

На лінійці зі шкалою поруч зі соленоїдом відмічається положення котушки-зонда всередині соленоїда.

Котушка - зонд складається з $w_2=2410$ витків,
площа одного витка зонда $S_2 = 4,15 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Ціна поділки веберметра $K_\Phi = 10^{-4} \text{ Вб/под.}$

Кількість витків соленоїда 510.

Довжина соленоїда 55,5 см.

Кількість витків на одиницю довжини соленоїда $n = 919 \text{ 1/м}$

Стала приладу C_0 в робочій формулі (9): $C_0 = 10^{-4} \text{ Тл/под.}$

Порядок виконання роботи

Попередньо поставивши перемикач на панелі у нейтральне положення, підключити джерело живлення до клем живлення панелі.

Завдання I. Дослідження залежності магнітної індукції B в центрі соленоїда від сили струму I в ньому.

1. Перевести **перемикач на панелі** у робоче положення - вперед (або назад) - та обертаючи ручку реостата встановити величину струму за вказівкою викладача (0,1 А), після чого повернути перемикач на панелі у нейтральне положення.

2. Підготувати веберметр до вимірювання, а саме стрілку веберметра встановити на середину шкали – відмітку 5 поділок. Для цього:

а) встановити лівий перемикач П1 веберметра в положення “Коректор” (рис. 5);



Рис. 5.

б) правий перемикач П2 веберметра повернути за годинниковою стрілкою **до кінця і назад** так, щоб в підсумку стрілка шкали веберметра стала на середину шкали - поділку «5»;

в) після цього лівий перемикач П1 встановити в положення “вимірювання” («измерение»).

4. Вимірювальну котушку за допомогою механізму переміщення установити на середину соленоїда (механізм переміщення котушки-зонда показаний на рис. 6)

5. **Перемикачем на панелі** включити на короткий час («вперед» і назад в «нейтраль») струм в соленоїд. Зафіксувати **відкид вправо** від позначки «5» стрілки веберметра.

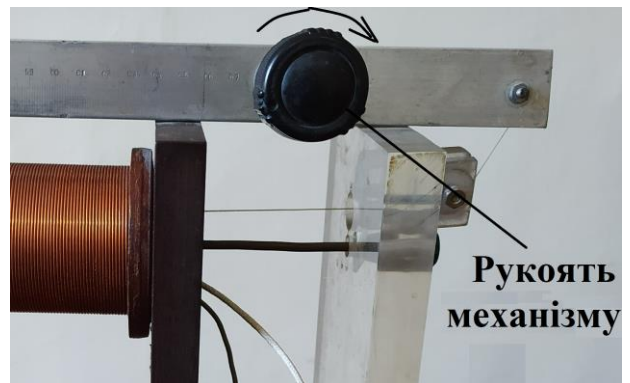


Рис.6.

6. Одразу після фіксації відкиду вправо стрілки веберметра перекинути **перемикач на панелі** на короткий час з «нейтралі» «назад» і знову фіксувати **відкид** від позначки «5», тепер **вліво**.

7. Записати середній відкид $\langle \Delta N \rangle$ у поділках стрілки мілівеберметра від цифри «5» на шкалі - для двох протилежних напрямів одного і того ж струму 0,1 А. Наприклад, 3 - відкид вправо, 2 - відкид вліво, середній відкид - 2,5 поділки.

8. Виконати всі процедури пунктів 1 - 7, збільшуючи струм кожного разу на 0,1 А для струмів від 0,2 А до 0,9 А.

9. Обчислити індукцію B магнітного поля соленоїда для кожного виміру пунктів 1 - 8 за формулами (9) і (2), результати вимірів і обчислень занести в таблицю 1.

Таблиця 1.

№ досліду	Сила струму I в соленоїді, А	Середнє відхилення стрілки веберметра, $\langle \Delta N \rangle$ поділок	Магнітна індукція, знайдена в досліді за формулою (9), $B = C_0 \cdot \langle \Delta N \rangle$, Тл	Магнітна індукція, розрахована теоретично за формулою (2) $B = \mu_0 nI$, Тл
1	0,1			
2	0,2			
3	0,3			
4	0,4			
5	0,5			
6	0,6			
7	0,7			
8	0,8			
9	0,9			

Завдання 2. Дослідження залежності магнітної індукції B від відстані до середини соленоїда

1. За допомогою реостату встановити струм в соленоїді $I = 0,8$ А і залишати його незмінним до кінця досліду.

Перемикач П1 веберметра перебуває в положенні «вимірювання» («измерение») з попереднього досліду.

Котушку-зонд за допомогою механізму переміщення встановити приблизно на середину соленоїда і записати її положення за шкалою на лінійці.

2. **Перемикачем на панелі** включити на короткий час («вперед» - нейтраль і назад - «нейтраль») струм в соленоїд. Зафіксувати **відкиди вправо і вліво** від позначки «5» стрілки веберметра.

Записати середній відкид $\langle \Delta N \rangle$ (у поділках) стрілки мілівеберметра від цифри 5 на шкалі для двох протилежних напрямів струму.

3. Переміщуючи котушку-зонд за допомогою механізму від центра соленоїда вліво з кроком 4 см у кінець соленоїда, робити після кожного переміщення вимір відповідно до п. 2 і записувати положення котушки-зонда і середній відкид. Поблизу краю соленоїда крок зменшити до 2 см.

4. Обчислити індукцію B магнітного поля соленоїда за формулою (9) для кожного виміру. Результати занести в таблицю 2.

Таблиця 2.

№ досліду	Сила струму I в соленоїді, А	Відстань l від краю соленоїда, см	Середнє відхилення стрілки веберметра, $\langle \Delta N \rangle$ поділок	Магнітна індукція, знайдена в досліді за формулою (9), $B = C_0 \cdot \langle \Delta N \rangle$, Тл
1	0,8	34		
2		30		
3		26		

4		22		
5		18		
6		14		
7		10		
8		6		
9		4		
10		2		

5. За даними таблиць 1 і 2 побудувати два графіки.

1) графік залежності магнітної індукції B від величини струму I в соленоїді $B = f(I)$ для фіксованого положення котушки-зонду .

2) графік залежності магнітної індукції B від відстані l від середини соленоїда: $B = f(l)$ для фіксованого значення струму

Контрольні питання

1. Що називається магнітною індукцією? потоком вектора магнітної індукції?
2. В чому полягає явище електромагнітної індукції?
3. В чому полягає принцип дії індукційних вимірювачів магнітного потоку?
4. Чому намагаються досягти протікання через обмотку соленоїда короткочасного імпульсу струму?
5. Скільки витків містить обмотка котушки-зонда, якщо площа її поперечного перерізу 4 см^2 , магнітна індукція в соленоїді 10^{-3} Тл , а величина середньої ЕРС, що виникає в обмотці під час розмикання кола, дорівнює 1 В ? Струм під час розмикання кола зменшується до нуля за $0,001 \text{ с}$.

Література

1. Кучерук І. М., Горбачук І.Т.Луцик П.П. Загальний курс фізики. У 3 т. Т 2: Електрика і магнетизм. Навчальний посібник для студентів вищих технічних та педагогічних закладів освіти – К.; "Техніка", 2006, -452 с
2. Курс фізики (під редакцією Лопатинського І.Є).. – Львів. – "Бескід Біт". – 2002.
3. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф.. Курс фізики. У 2 кн.: Кн.1. Фізичні основи механіки. Електрика і магнетизм. – К.:«Либідь», 2001. – 448с
4. Гаркуша І.П., Курінний В.П. Фізика. Навчальний посібник у 7 частинах. Ч. 3. Електрика і магнетизм. [Електронне видання]: - Д. Національний гірничий університет, 2018. - 165 с. -

Укладачі Гаркуша І.П. Зайцев А.С.