

Лабораторна робота № 3.38

Визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі за допомогою тангенс-гальванометра

Мета роботи: знайомство з елементами земного магнетизму, визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля.

Прилади й принадлежности: тангенс - гальванометр, джерело постійного струму, амперметр, перемикач.

Елементи земного магнетизму

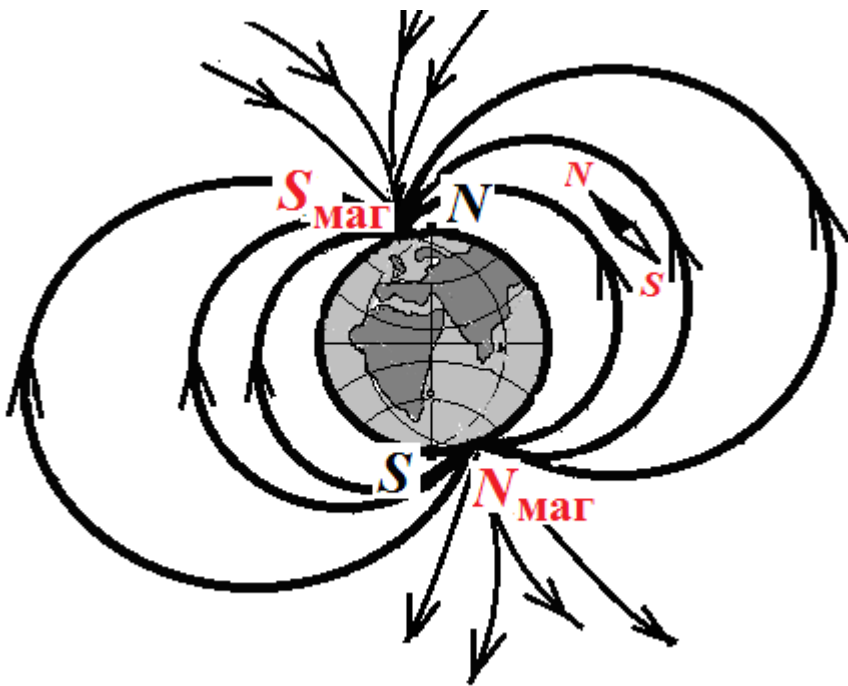


Рис. 1.

Земля є величезним природним магнітом кулястої форми, який створює навколо Землі *магнітне поле*.

Переконатися в існуванні магнітного поля в будь-якій точці Землі можна за допомогою *магнітної стрілки*.

Стрілка компаса – це маленький постійний магніт, який може вільно обертатися навколо вертикальної осі. Відповідно до правила магнетизму різнойменні магнітні полюси притягуються один до одного. Той кінець стрілки компаса,

який притягується до південного магнітного полюса Землі $S_{\text{маг}}$, найчастіше пофарбований у синій колір, а протилежний — у червоний колір.

Магнітні полюси Землі розташовані в порівнянні з географічними полюсами *навпаки* - поблизу північного географічного полюса N (North - англ. *північ*) знаходиться південний магнітний полюс $S_{\text{маг}}$ (South – англ. *південь*)., поруч з південним географічним полюсом S розташований північний магнітний полюс $N_{\text{маг}}$ (рис.1). Силкові лінії магнітного поля Землі, як і для будь-якого магніту, виходять з північного полюса магніту $N_{\text{маг}}$ і входять в південний полюс $S_{\text{маг}}$.

При точних вимірах було виявлено, що магнітне поле Землі безперервно змінюється з плином часу. В даний час природа земного магнетизму не з'ясована. Вважається, що магнітне поле, в основному, обумовлене процесами, що протікають в рідкому металевому ядрі Землі.

Подібно до того, як на поверхні Земної кулі подумки проводять меридіани - лінії, утворені перетином поверхні площинами, що проходять через вісь обертання Землі, магнітні полюси теж з'єднують на земній поверхні *магнітними меридіанами*.

Вертикальна площина, що проходить через меридіан і центр Землі називається площиною магнітного меридіану

Стрілка компаса, яка може вільно обертатися, встановлюється в площині магнітного меридіану за дотичною до меридіану (див. рис. 1). Своїм північним кінцем N стрілка притягується до південного магнітного полюса Землі $S_{\text{маг}}$, і таким чином вказує напрям на географічну північ.

Фундаментальною характеристикою магнітного поля є **вектор магнітної індукції B** . Він визначає силу дії магнітного поля на рухомі заряджені частинки і струми, а також може бути безпосередньо виміряний (наприклад, тесламетром з перетворювачем Холла).

Вводиться також допоміжна величина - **напруженість магнітного поля H** . У вакуумі (наближено і в повітрі) напруженість магнітного поля (H) збігається з вектором магнітної індукції (B) з точністю до коефіцієнта: $B = \mu_0 H$.

Цінність напруженості H полягає в тому, що вона визначається так званими макрострумами, які проходять по дротах та які порівняно легко безпосередньо виміряти, а напруженість простіше розрахувати.

У даній роботі магнітне поле описується напруженістю H . У системі одиниць СІ одиницею напруженості магнітного поля є ампер-на-метр (А / м). Напруженість магнітного поля Землі в середньому дорівнює 40 А / м. Найбільшої величини магнітне поле досягає поблизу магнітних полюсів, а найменшої - у екватора.

Положення магнітної стрілки визначається напрямом дотичної до лінії магнітного меридіану. Як впливає з рис. 1, магнітне поле Землі на екваторі направлено горизонтально, а біля магнітних полюсів - вертикально. В інших точках земної поверхні магнітне поле Землі направлено під деяким кутом. У північній півкулі кінець стрілки, що вказує на північ, відхиляється вниз. Тому вектор напруженості магнітного поля Землі доцільно розкласти на 2 складових: горизонтальну $H_{\text{Г}}$, з якою зазвичай і мають справу, і вертикальну $H_{\text{В}}$.



Чому визначають саме горизонтальну складову $H_{\text{Г}}$ напруженості? Тому що магнітна стрілка, яка може обертатися тільки навколо вертикальної осі, буде відхилятися в горизонтальній площині тільки під дією саме горизонтальної складової магнітного поля Землі $H_{\text{Г}}$.

У даній роботі горизонтальна складова напруженості магнітного поля Землі $H_{\text{Г}}$ визначається за допомогою так

званого тангенс - гальванометра (рис. 2).

Він складається з замкнутого провідника, утвореного з n прилеглих щільно один до одного витків. Провідник має форму кругової рамки. У центрі рамки укріплений компас, стрілка якого може вільно обертатися навколо вертикальної осі.

Під дією тільки магнітного поля Землі H_{Γ} стрілка зайняла б положення в площині магнітного меридіану уздовж H_{Γ} (рис. 3).

Якщо ж в цій же площині розмістити рамку тангенс - гальванометра і включити струм, що протікає через витки, то з'явиться магнітне поле струму H_C . Напрямок напруженості H_C поля струму буде перпендикулярним до площини витків і напрямку вектора H_{Γ} .

Відповідно до принципу суперпозиції (накладання полів) напруженість повного магнітного поля дорівнює:

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_{\Gamma} + \mathbf{H}_C.$$

Магнітна стрілка займе нове положення рівноваги, в якому її напрям збігається з напрямом рівнодіючої H .

Кут повороту φ магнітної стрілки (рис.3) визначимо з прямокутного трикутника:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{H_C}{H_{\Gamma}}. \quad (1)$$

Напруженість магнітного поля струму H_C в центрі кругової котушки з струмом, що містить n витків, знаходиться на підставі закону Біо-Савара-Лапласа і чисельно дорівнює:

$$H_C = \frac{In}{2R}, \quad (2)$$

де I - сила струму в котушці; R - радіус витка.

Тоді з (1) і (2) горизонтальна складова напруженості (модуль її) земного магнітного поля для даного місця Землі виразиться формулою:

$$H_{\Gamma} = \frac{In}{2R \operatorname{tg} \varphi}. \quad (3)$$

Знаючи число n витків котушки, їх радіус R , вимірюючи амперметром величину струму I і за допомогою тангенс-гальванометра кут φ , **користуючись робочою формулою (3)**, можна знайти H_{Γ} .

Можна поставити питання інакше. З формули (3) для величини струму отримаємо

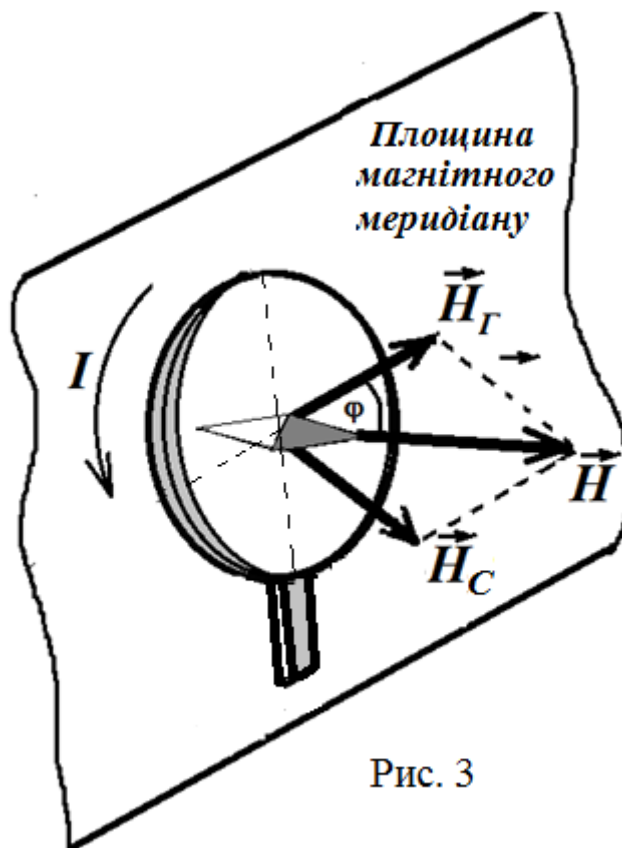


Рис. 3

$$I = \frac{2H_{\Gamma}R}{n} \operatorname{tg} \varphi. \quad (4)$$

Якщо відомі H_{Γ} , R і n , то, вимірюючи кут φ відхилення стрілки приладу, можна визначити величину струму. Тому прилад на початку розвитку фізики використовували для вимірювання сили струму, і він був названий *тангенс-гальванометром*.

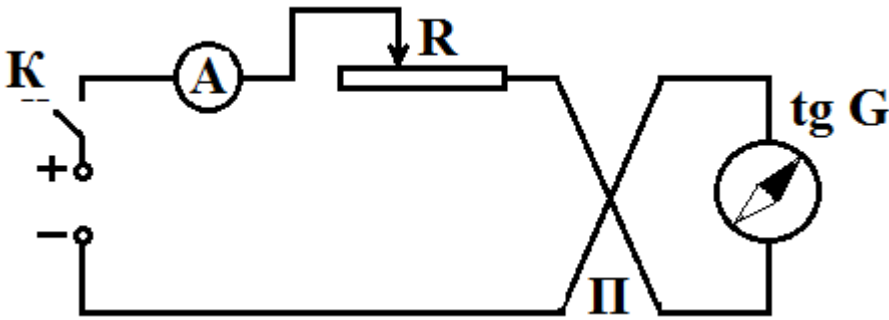


Рис. 4.

Порядок виконання роботи

1. Складіть електричне коло, з'єднавши послідовно тангенс - гальванометр, амперметр, реостат, джерело струму і перемикач (рис. 4). Розмістіть тангенс - гальванометр так, щоб площина витків його котушки збігалася з напрямом стрілки компаса, тобто з площиною магнітного меридіану. Магнітна стрілка вказує при цьому на Північ N і Південь S (на рис.5. стрілка компаса у відсутності струму в витках котушки зображена пунктиром).

2. Увімкніть випрямляч змінного струму ТВП тумблером ВКЛ. Поставте перемикач Π в ліве або праве положення. Реостатом встановіть по амперметру струм в колі 0,1 А. Відрахуйте кути φ_1 і φ_2 по обох кінцях стрілки (див. рис. 5)

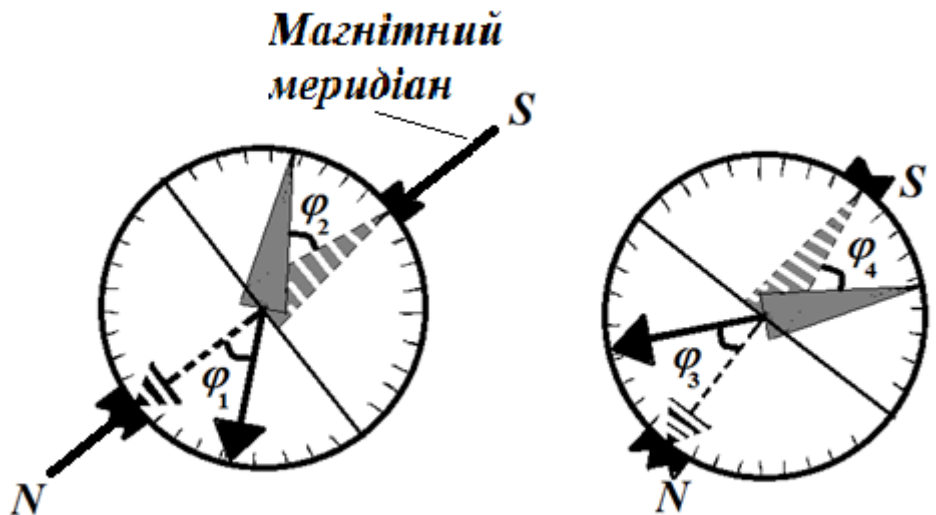


Рис. 5.

3. Не змінюючи силу струму, змініть напрям струму на протилежний за допомогою перемикача Π і знову відрахуйте кути φ_3 і φ_4 відхилення стрілки (рис. 5).

Таким способом виключається похибка, що виникає за рахунок можливого неспівпадіння осі стрілки з центром витків котушки, і похибка за рахунок неточної установки площині витків котушки тангенс - гальванометра в площині магнітного меридіану.

4. Повторіть вимірювання кутів відхилення стрілки φ_1 , φ_2 , φ_3 , φ_4 при інших, але великих значеннях сили струму (0,2 А, 0,3 А, 0,4 А, ...), виконавши не менше 5-ти вимірювань. Всі отримані дані досліду занесіть в таблицю.

5. Знайдіть середнє значення кутів φ для кожного значення струму за формулою:

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

6. За формулою (3) для кожної сили струму обчисліть H_{Γ} . Число витків n і радіус R котушки вказані на приладі.

7. Визначте середнє значення $\langle H_{\Gamma} \rangle$. Проведіть статистичну обробку результатів вимірювань за стандартною методикою (див. Додаток). Результат вимірювань напруженості запишіть в стандартному вигляді.

$R =$

$n =$

Таблиця

№ за/п	I А	φ_1 град	φ_2 град	φ_3 град	φ_4 град	φ град	$\text{tg } \varphi$	$H_{\Gamma i}$ А/м	$\langle H_{\Gamma} \rangle$ А/м	$\Delta H_{\Gamma i}$	ΔH_{Γ}	$E \%$
1.												
2.												
3.												

Контрольні питання

1. Що називається магнітним меридіаном? Яка площину називається площиною магнітного меридіану?
2. Як встановлюється магнітна стрілка в магнітному полі Землі?
3. Чому поряд з магнітною індукцією B використовується напруженість H - допоміжна характеристика магнітного поля? В яких одиницях вимірюється напруженість магнітного поля в системі СІ?
4. Чому дорівнює і як спрямована напруженість магнітного поля в центрі кругового струму?
5. Для чого в цій роботі необхідно встановлювати круговий провідник в площині магнітного меридіану?
6. Чому вимірювання проводять при двох різних напрямках струму?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. - К.: Техніка, 2001. - Т.2.
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. Навч посібник у 7 частинах. Ч.3. Електрика та магнетизм. Д. НТУ «ДП» , 2018

Додаток

Методика обробки результатів вимірювань

1. . Проводять n незалежних дослідів і визначають n значень шуканої величини $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.
2. Розраховують середнє арифметичне значення шуканої величини:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i .$$

3. Розраховують відхилення кожного результату від середнього значення :

$$\Delta x_i = x_i - \langle x \rangle .$$

4. Визначають стандартне відхилення середнього

$$S_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \Delta x_3^2 + \dots}{n(n-1)}} .$$

5. Задають довірчу ймовірність α . Зазвичай довірчу ймовірність вважають рівною 0,90; 0,95; 0,98; 0,99. За обраним значенням довірчої ймовірності α і для виконаної кількості вимірювань n за таблицею визначають коефіцієнт Стюдента $t_{\alpha, n}$. (Таблиця є в лабораторії).

6. Обчислюють напівширину довірчого інтервалу (абсолютну стандартну похибку)

$$\Delta x = t_{\alpha, n} S_{\langle x \rangle} .$$

7. Визначають відносну похибку

$$E = \frac{\Delta x}{\langle x \rangle} \cdot 100\% .$$

8. Остаточний результат вимірювання записують у вигляді:

$$x = \langle x \rangle \pm \Delta x$$

і вказують довірчу ймовірність $\alpha = \dots$

Цей запис означає, що в результаті вимірів знайдено середнє значення $\langle x \rangle$ зі стандартною похибкою Δx , тобто що з імовірністю $\alpha = \dots$ істинне значення вимірюваної величини буде лежати в межах від $\langle x \rangle - \Delta x$ до $\langle x \rangle + \Delta x$.

Склав Гаркуша І.П.