

## 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

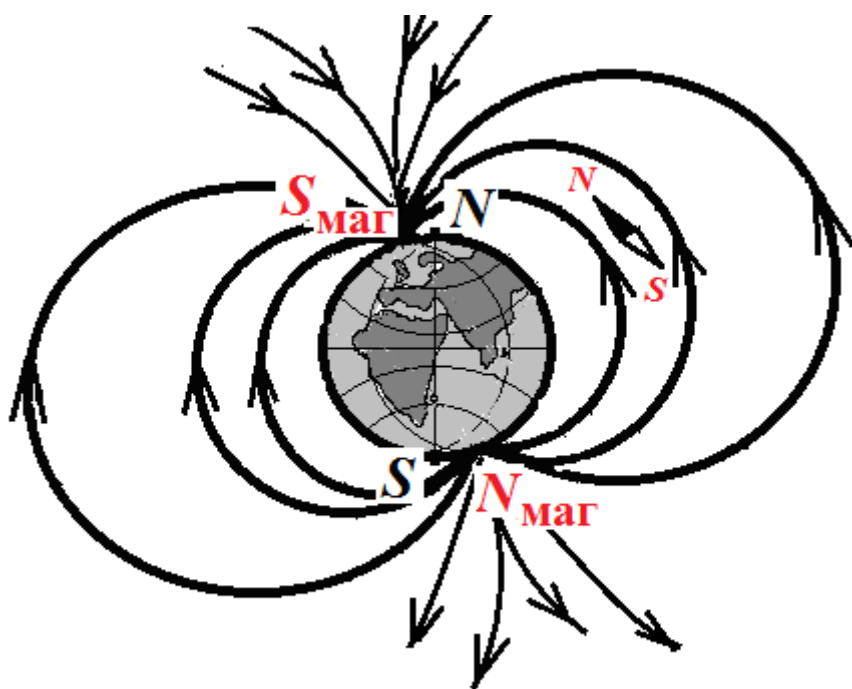


Рис. 1.

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**.

Силкові лінії магнітного поля Землі, як і для будь-якого магніту, виходять з північного полюса магніту  $N_{\text{маг}}$  і входять в південний полюс  $S_{\text{маг}}$ .

**Магнітні полюси** Землі розташовані в порівнянні з географічними полюсами

*навпаки* - поблизу північного географічного полюса  $N$  знаходиться південний магнітний полюс  $S_{\text{маг}}$ , поруч з південним географічним полюсом  $S$  розташований північний магнітний полюс  $N_{\text{маг}}$  (рис.1).

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 по дотичній до меридіану (див. рис. 1). Своїм північним кінцем  $N$  стрілка притягується до південного магнітного полюса Землі  $S_{\text{маг}}$ , і таким чином вказує напрямок на географічний північ.

Фундаментальною характеристикою магнітного поля є **вектор магнітної індукції  $\mathbf{B}$** . 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  $\mathbf{H}$** . У вакуумі (наближено і в повітрі) напруженість магнітного поля ( $\mathbf{H}$ ) збігається з вектором магнітної індукції ( $\mathbf{B}$ ) з точністю до коефіцієнта:  $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$ .

Цінність напруженості  $\mathbf{H}$  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  $\mathbf{H}$ . 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  $\mathbf{H}_Г$ , з якою зазвичай і мають справу, і вертикальну  $\mathbf{H}_В$ .



Рис. 2.

(рис. 2).

Чому визначають саме горизонтальну складову  $\mathbf{H}_Г$  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  $\mathbf{H}_Г$ .

У даній роботі горизонтальна складова напруженості магнітного поля Землі  $\mathbf{H}_Г$  визначається за допомогою так званого тангенс - гальванометра

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  $H_{\Gamma}$  стрілка зайняла б положення в площині магнітного меридіану уздовж  $H_{\Gamma}$  (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  $H_{\Gamma}$ .

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

$$H = H_{\Gamma} + H_C.$$

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

Кут повороту  $\varphi$  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  $\varphi$ , **користуючись робочою формулою (3)**, можна знайти  $H_{\Gamma}$ .

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

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

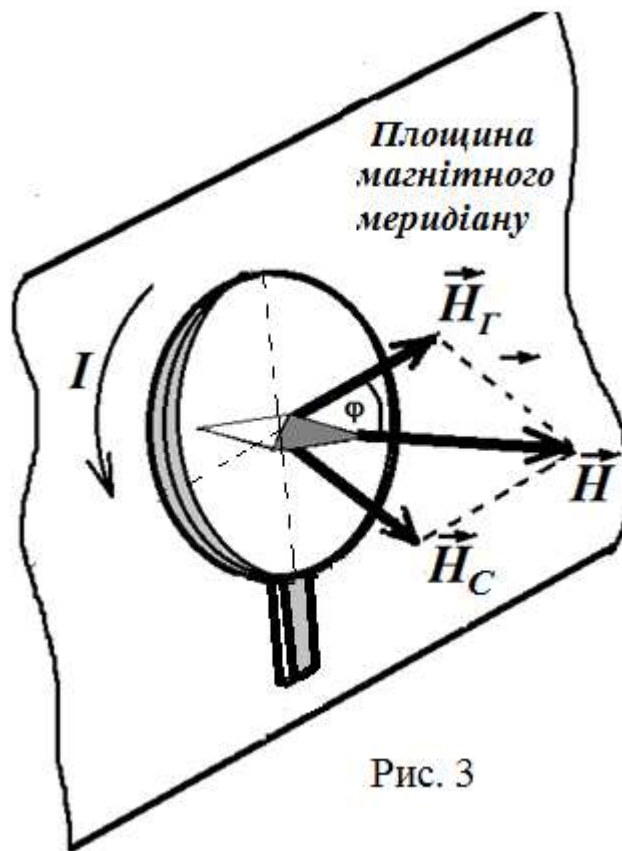


Рис. 3

Якщо відомі  $H_G$ ,  $R$  і  $n$ , то, вимірюючи кут  $\varphi$  відхилення стрілки приладу, можна визначити величину струму. Тому прилад на початку розвитку фізики використовували для вимірювання сили струму, і він був названий *тангенс-гальванометром*.

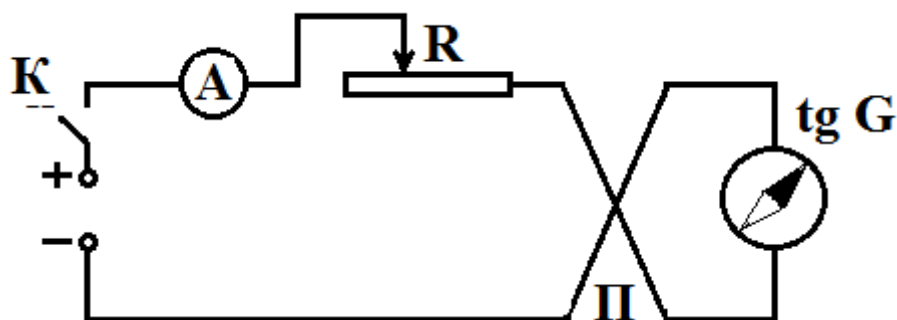


Рис. 4.

### 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  $\Pi$  в ліве або праве положення. Реостатом встановіть по амперметру струм в колі 0,1 А. Відрахуйте кути  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  по обох кінцях стрілки (див. рис. 5)

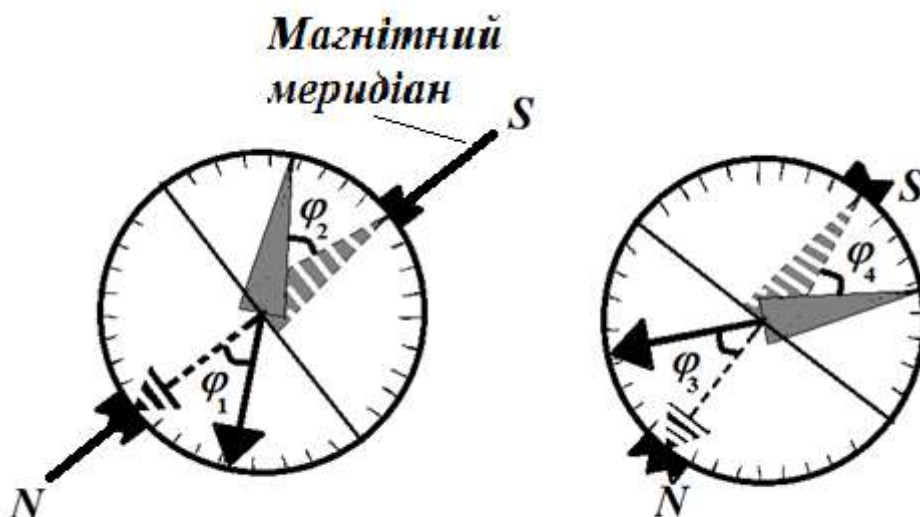


Рис. 5.

3. Не змінюючи силу струму, змініть напрям струму на протилежний за допомогою перемикача  $\Pi$  і знову відрахуйте кути  $\varphi_3$  і  $\varphi_4$  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  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$ ,  $\varphi_4$  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  $\varphi$  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  $H_{Г}$ . Число витків  $n$  і радіус  $R$  котушки вказані на приладі.

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

$$R =$$

$$n =$$

Таблиця

№ за/п	$I$ А	$\varphi_1$ град	$\varphi_2$ град	$\varphi_3$ град	$\varphi_4$ град	$\varphi$ град	$\text{tg } \varphi$	$H_{Гi}$ А/м	$\langle H_{Г} \rangle$ А/м	$\Delta H_{Гi}$	$\Delta H_{Г}$	$E \%$
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. Савельєв І.В. Курс фізики. Учеб: У 3-х т. Т. 2 Електрика. Коливання і вільні. - М.: Наука, 1989.
3. 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  $\alpha$ . Зазвичай довірчу ймовірність вважають рівною 0,90; 0,95; 0,98; 0,99. За обраним значенням довірчої ймовірності  $\alpha$  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  $\Delta x$ , 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.