4.3.4 Визначення кута магнітного нахилу для магнітного поля Землі

Детальний опис роботи подано в [3, (робота 16.2); 8, (робота Е-16.3)]. Існує комп'ютерній симулятор цієї роботи [7, робота 1.8].

Метою роботи є експериментальне визначення кута магнітного нахилу θ, тобто кута, який утворює вектор напруженості ***H*** магнітного поля Землі в даній точці її поверхні з горизонтальною площиною. Значення цього кута в різних точках земної кулі змінюється від θ = 0 на магнітному екваторі до θ = π/2 на магнітних полюсах.

Для перевірки отриманого результату можна використати співвідношення [26] між географічною широтою φ місця досліду та шуканим кутом магнітного нахилу θ:

$$\mathrm{tg}\theta = 2\mathrm{tg}\varphi\,. \qquad (3.4.1)$$

Наприклад, широта м. Харкова φ =50°, отже теоретично має бути θ ≈ 67,2°.

Кут магнітного нахилу θ можна вирахувати з допомогою *робочої формули* роботи:

$$\mathrm{tg}\theta = \frac{H_{\text{В}}}{H_{\text{Г}}} \qquad (3.4.2)$$

де $H_{\text{Г}}$ – горизонтальний складник вектора напруженості ***H*** магнітного поля Землі, $H_{\text{В}}$ – вертикальний складник цього вектора.

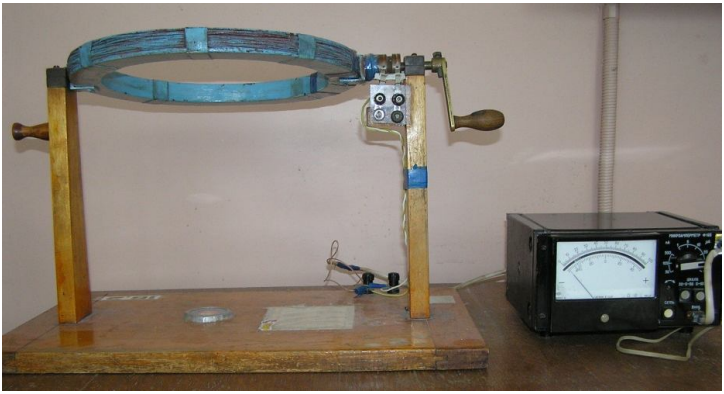

Рисунок 12

Експериментально кут магнітного нахилу можна визначити з допомогою земного індуктора, послідовно з'єднаного з балістичним гальванометром. Земний індуктор (рис.12) – це плоска дротова котушка великого радіуса, яка може обертатися навколо осі, що проходить крізь один з її діаметрів. При повороті земного індуктора в магнітному полі Землі в ньому виникає ЕРС індукції $\mathcal{E}$, внаслідок чого крізь рамку гальванометра пройде заряд

$$q = \int_0^{\tau} I dt = \int_0^{\tau} \frac{\mathcal{E}}{R} dt = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R}, \qquad (3.4.3)$$

де $\Phi_1$ та $\Phi_2$ - початкове та кінцеве значення повного магнітного потоку, зчепленого з індуктором.

Якщо вісь рамки розмістити горизонтально (рис. 12) та у площині магнітного меридіана, то при повороті рамки на 180° навколо своєї осі її поверхню буде перетинати тільки вектор вертикального складника напруженості магнітного поля Землі $\boldsymbol{H}_{\text{В}}$. Тоді індукційний заряд визначить співвідношення

$$q_1 = \frac{2N\Phi_{\max}^{\text{В}}}{R} = \frac{2N\mu_0 H_{\text{В}} S}{R}, \qquad (3.4.4)$$

де $\Phi_{\max}^{\text{В}} = N\mu_0 H_{\text{В}} S$ - магнітний потік зумовлений вертикальним складником земного магнітного поля через площину рамки з площею $S$, $N$ - число витків в котушці. При вимірюванні заряду $q_1$, рухома система балістичного гальванометру повернеться на кут

$$\alpha_1 = \frac{q_1}{k}, \qquad (3.4.5)$$

де $k$ - стала гальванометра.

Якщо вісь обертання рамки розташувати вертикально, а її площину перпендикулярно до вектора горизонтального складника напруженості магнітного поля Землі $\boldsymbol{H}_{\Gamma}$, то при повороті рамки на 180° індукційний заряд дорівнюватиме

$$q_2 = \frac{2N\Phi_{\max}^{\Gamma}}{R} = \frac{2N\mu_0 H_{\Gamma} S}{R}, \qquad (3.4.6)$$

де $\Phi_{\max}^{\Gamma} = N\mu_0 H_{\Gamma} S$ - магнітний потік зумовлений горизонтальним складником земного магнітного поля через площину рамки, а кут повороту рухомої системи балістичного гальванометра

$$\alpha_2 = \frac{q_2}{k}. \qquad (3.4.7)$$

Якщо поділити (3.4.4) на (3.4.6), а (3.4.5) на (3.4.7), то одержимо дві рівності:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{H_{\text{В}}}{H_{\Gamma}}, \qquad \frac{q_1}{q_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \qquad (3.4.8)$$

Дорівнюючи праві частини цих рівностей та враховуючи співвідношення (3.4.2), приходимо до *робочої формули* лабораторної роботи:

$$\text{tg}\theta = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}. \qquad (3.4.9)$$

Оскільки кути $\alpha_1$ та $\alpha_2$ є невеликими, то їхнє відношення можна замінити відношенням відповідних відхилень $n_1$ та $n_2$ покажчика на шкалі балістичного гальванометра. Тоді *розрахункова формула* роботи, що визначає шуканий кут магнітного нахилу $\theta$, набуває такого вигляду:

$$\theta = \text{arctg}\frac{n_1}{n_2}. \qquad (3.4.10)$$

---

☝ Зверніть увагу!

У реальній лабораторній установці (рис.12) використовується не балістичний гальванометр, а гальванометр магнітоелектричної системи з істотним моментом інерції рухомої частини та шкалою, нуль якої розташований у її середині. Для такого приладу відхилення стрілки $n$ залежить від кутової швидкості обертання рамки індуктора. Тому для забезпечення правильності формули (3.4.10) слід намагатися у всіх дослідах обертати рамку індуктора приблизно з однаковою кутовою швидкістю.

---

Опис вимірювань детально поданий у посібниках [3, 8]. Результати вимірювань рекомендовано занотувати у таблицю, структура якої має такий вигляд:

| № | $n_1$, поділки | $\Delta n_{1i}$, поділки | $n_2$, поділки | $\Delta n_{2i}$, поділки |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| … | | | | |
| | $<n_1>$ | | $<n_2>$ | |

Результатами вимірювань мають бути щонайменше 6 значень кожної з величин $n_1$ та $n_2$.

*Алгоритм опрацювання результатів експерименту*

Визначення кута магнітного нахилу з використанням описаної вище процедури є типовим непрямим вимірюванням. Тому подальші дії визначає *алгоритм п. 2.2* Вступу, а саме.

1. Обчислити $<n_1>$, $<n_2>$ та занотувати їхні значення в таблицю.
2. Вирахувати $\Delta n_{1i}$, $\Delta n_{2i}$ та занотувати їхні значення в стовпчиках 3, 5.
3. Відшукати абсолютні похибки $\Delta n_1$, $\Delta n_2$.
4. Використовуючи розрахункову формулу роботи (3.4.10) обчислити середній кут магнітного нахилу $<\theta>$ *у радіанах*.
5. Відшукати похибку вимірювання середнього кута магнітного нахилу $\Delta\theta$ за формулою

$$\Delta\theta = \frac{<n_2>\Delta n_1 - <n_1>\Delta n_2}{(<n_1> + <n_2>)^2}. \qquad (3.4.11)$$

6. Записати відповідь у вигляді

$$\theta = \theta \pm \Delta\theta \text{ (рад)} \qquad (3.4.12)$$

7. Перевести значення $\theta$ і $\Delta\theta$ у кутові градуси та записати співвідношення (3.4.12) у цьому випадку. Порівняти одержане значення кута магнітного нахилу з теоретичним.