

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Кафедра загальної фізики**

**ЗВІТ**

**про виконання лабораторної роботи № 11**

**Назва роботи** «Визначення горизонтальної й вертикальної складових  
індукції магнітного поля Землі за допомогою земного індуктора»

**Виконав:** Марущак А.С.

**студент групи ПЗ-15**

**інституту ІКНІ**

**Лектор:** доцент Рибак О.В

**Керівник лабораторних занять:**

Ільчук Г.А.

---

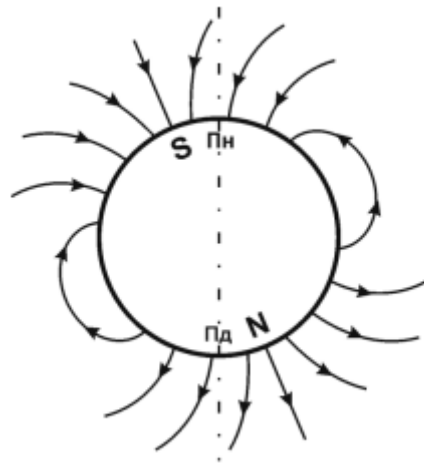
**Львів - 2022**

**Мета роботи:** Навчитися визначати горизонтальну й вертикальну складову індукції магнітного поля Землі за допомогою земного індуктора.

**Прилади та матеріали:** земний індуктор, мілівеберметр або балістичний гальванометр.

### Короткі теоретичні відомості:

У просторі, який оточує Землю, існує магнітне поле, лінії індукції якого зображені на рис. Північний магнітний полюс N знаходиться поблизу південного ( Пд. ) географічного і навпаки, південний магнітний - біля північного географічного ( Пн ) полюсу.



У будь-якій точці земної поверхні напрям вектора магнітної індукції  $\vec{B}$ , який збігається з напрямом північного кінця вільної магнітної стрілки, утворює кут  $\varphi$  з лінією горизонту. Цей кут називають магнітним схиленням. Вертикальну площину, в якій лежить вектор  $\vec{B}$  (а отже, й вісь магнітної стрілки), називають площиною магнітного меридіану.

Вектор магнітної індукції  $\vec{B}$  поля Землі можна розкласти на дві складові: горизонтальну  $\vec{B}_H$  й вертикальну  $\vec{B}_V$ . У межах лабораторії магнітне поле Землі можна вважати однорідним. У даній роботі  $\vec{B}_H$  й  $\vec{B}_V$  визначають за допомогою земного індуктора. Це плоска дротяна котушка досить великого радіуса із значним числом витків, яка може вільно обертатися навколо осі, що проходить через один з її діаметрів. При повороті земного індуктора в магнітному полі Землі змінюється магнітний потік через поверхню, обмежену його витками, і відповідно на затискачах індуктора виникає ЕРС індукції. Прилад, під'єднаний до затискачів (мілівеберметр, або балістичний гальванометр), можна проградувати так, щоб він безпосередньо показував зміну магнітного потоку, який пронизує витки індуктора. Нехай вісь індуктора орієнтована горизонтально в площині магнітного меридіана,

площина витків теж горизонтальна. При повороті індуктора на  $180^\circ$  його витки будуть перетинати лише вертикальну складову  $\vec{B}_B$  індукції магнітного поля Землі. Зміна магнітного потоку, що пронизує витки,

$$\Delta \Phi_B = \Phi_B - (-\Phi_B) = 2B_B s,$$

де  $s$  - площа, охоплена витками;  $s = \frac{1}{4} \pi d^2$ ,  $d$  - діаметр витка. Зміну магнітного потоку  $\Delta \Phi_B$  можна безпосередньо реєструвати мілівеберметром, який під'єднано до затискачів індуктора. Тоді

$$B_B = \frac{\Delta \Phi_B}{2S} = \frac{2\Delta \Phi_B}{\pi d^2}$$

Аналогічно можна визначити горизонтальну складову, якщо вісь індуктора - вертикальна, а початкове положення площини витків перпендикулярне до площини магнітного меридіана:

$$B_r = \frac{\Delta \Phi_r}{2S} = \frac{2\Delta \Phi_r}{\pi d^2}$$

Зміну магнітного потоку  $\Delta \Phi_B$  і  $\Delta \Phi_r$  можна також визначити за допомогою балістичного гальванометра, який під'єднується замість мілівеберметра. При зміні магнітного потоку через площину витків індуктора в ньому індукується ЕРС, в результаті чого через гальванометр проходить деяка кількість електрики  $q$ :

$$q = \frac{\Delta \Phi}{R},$$

де  $R$  – опір витків. При цьому рамка гальванометра повертається на деякий кут. За формулою  $\Delta \Phi = qR$ , але  $q = \alpha\beta$ , де  $\alpha$  - чутливість гальванометра;  $\beta$  - балістичне відхилення (максимальне відхилення світлового зайчика) при швидкому повороті індуктора на  $180^\circ$ . Тоді

$$\Delta \Phi = \alpha R \beta = c\beta; \quad \Delta \Phi = c\beta,$$

Підставивши значення у формули вище, маємо

$$B_B = \frac{2c\beta B_B}{\pi d^2}$$

$$B_r = \frac{2c\beta_r}{\pi d^2}$$

Тоді індукція магнітного поля Землі

$$B = \sqrt{B_r^2 + B_B^2}$$

**Контрольні запитання**

**1. Дати визначення вектора індукції магнітного поля і магнітного потоку. У яких одиницях ( за СІ ) вимірюється індукція магнітного поля й магнітного потік?**

Магнітна індукція – це векторна величина, модуль якої визначається відношенням максимального обертового моменту, що діє на контур, до сили струму, що протікає в контурі і до площі контуру.

$$B = \frac{M_{\max}}{IS}$$

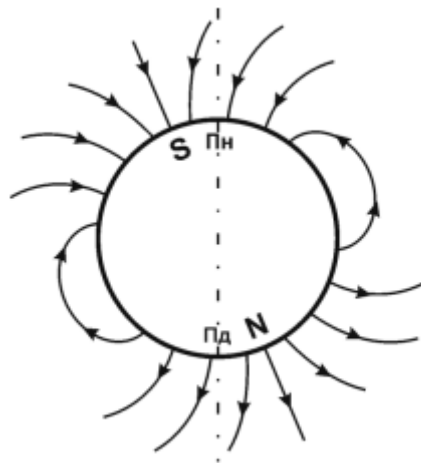
Одиницею вимірювання магнітної індукції є Тесла ( Тл ). Тесла – індукція такого однорідного магнітного поля, у якому на плоский контур зі струмом, що має магнітний момент 1А ·м діє максимальний обертовий момент, рівний 1Н·м .

Нехай лінії магнітної індукції пронизують якусь невелику площину  $ds$ . Будемо вважати, що в межах площини  $ds$  магнітне поле однорідне. Поток вектора магнітної індукції або магнітним потоком називається скалярна фізична величина  $d\Phi = B \cdot ds \cdot \cos\alpha = B_n ds$ , де  $\alpha$  – кут між зовнішньою нормаллю  $\vec{n}$  до площини  $ds$  і вектором  $\vec{B}$ .  $B_n$  – проекція вектора  $\vec{B}$  на напрям нормалі. Повний потік через поверхню  $s$  буде:  $\Phi = \int_S B_n ds$ .

Якщо магнітне поле однорідне, а поверхня плоска, тоді  $\Phi = B s \cos\alpha$ .

Одиницею вимірювання магнітної індукції є Вебер( Вб ).

**2. Накреслити схему силових ліній магнітного поля Землі.**



**3. Сформулювати закон електромагнітної індукції.**

Англійський вчений Фарадей відкрив електричну дію магнітного поля. Він експериментально довів, що в електропровідному контурі під впливом змінного магнітного поля виникає електрорушійна сила, яка зумовлює в ньому появу електричного струму. Це явище Фарадей назвав електромагнітною індукцією, а струм, що при цьому виникає – індукційним. Величина електрорушійної сили індукції пропорційна швидкості зміни магнітного потоку, тобто Англійський вчений Фарадей відкрив електричну

дію магнітного поля. Він експериментально довів, що в електропровідному контурі під впливом змінного магнітного поля виникає електрорушійна сила, яка зумовлює в ньому появу електричного струму. Це явище Фарадей назвав електромагнітною індукцією, а струм, що при цьому виникає – індукційним. Величина електрорушійної сили індукції пропорційна швидкості зміни магнітного потоку, тобто

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Величина е.р.с. індукції залежить не просто від зміни магнітного потоку через поверхню, обмежену контуром, а від швидкості зміни магнітного потоку через цю поверхню. Знак мінус є математичним виразом закону Ленца, згідно з яким індукційний струм, що виникає в замкнутому провідному контурі, має такий напрям, при якому він своїм власним магнітним полем намагається протидіяти зміні магнітного потоку, який породжує цей струм.

Задані величини:

$$d = 0.3\text{м}$$

**Робочі формули:**

$$\Delta\Phi_B = C \cdot \beta_B$$

$$B_B = \frac{2 \cdot C \cdot \beta_B}{\pi \cdot d^2}$$

$$\Delta\Phi_\Gamma = C \cdot \beta_\Gamma$$

$$B_\Gamma = \frac{2 \cdot C \cdot \beta_\Gamma}{\pi \cdot d^2}$$

$$B = \sqrt{B_\Gamma^2 + B_B^2}$$

### Хід роботи

1. Під'єдную вимірювальний прилад до затискачів індуктора.
2. Встановлюю вісь обертання індуктора горизонтально в площині магнітного меридіана, а площину витків - перпендикулярно до площини магнітного меридіана.
3. Швидко повернувши витки індуктора на  $180^\circ$ , визначаю за гальванометром балістичне відхилення  $\beta_B$  або за веберметром - зміну магнітного потоку.

4. Повторюю виміри п'ять - десять разів, повертаючи кожен раз прилад у початкове положення. Результати вимірів заносю в табл. 1.
5. Встановлюю вісь обертання індуктора вертикально, а площину витків – перпендикулярно до площини магнітного меридіану. Повторюю виконання пунктів 3, 4, визначивши  $\beta_{\Gamma}$  або  $\Phi_{\Gamma}$ . Результати вимірів занести в таблицю 2.
6. Вимірюю діаметр кола між серединами витків індуктора.
7. Визначаю  $B_B$ ,  $B_{\Gamma}$ , використавши формули.
8. Користуючись формулою  $B = \sqrt{B_{\Gamma}^2 + B_B^2}$ , обчислюю  $B$ .
9. Обчислюю абсолютну і відносну похибки результатів.

### Таблиця результатів

**Табл 1.**

№ п/п	$C, 10^{-7}$ Вб/под	$\beta_B$ , под	$\Delta\Phi_B$ , $10^{-7}$ Вб	$B_B, 10^{-7}$ Тл	$\Delta B_B$ , $10^{-7}$ Тл	$\delta B_B$ , %
1	6,88	16	110,1	778,7	58,4	8,1
2	6,88	15	103,2	730	9,7	1,35
3	6,88	15	103,2	730	9,7	1,35
4	6,88	14	96,3	681,3	39	5,41
5	6,88	14	96,3	681,3	39	5,41
Середнє	6,88	14,8	101,8	720,3	31,2	4,33

**Табл 2.**

№ п/п	$C, 10^{-7}$ Вб/под	$\beta_{\Gamma}$ , под	$\Delta\Phi_{\Gamma}$ , $10^{-7}$ Вб	$B_{\Gamma}, 10^{-7}$ Тл	$\Delta B_{\Gamma}$ , $10^{-7}$ Тл	$\delta B_{\Gamma}$ , %
1	6,88	10	68,8	486,7	48,7	11,1
2	6,88	8	55	389,3	48,7	11,1
3	6,88	9	61,9	438	0	0
4	6,88	10	68,8	486,7	48,7	11,1
5	6,88	8	55	389,3	48,7	11,1
Середнє	6,88	9	61,9	438	38,96	8,88

## Обчисления

**Табл. 1**

$$\Delta\Phi_{B_1} = 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 16 = 110,1 \cdot 10^{-7} (\text{Вб})$$

$$\Delta\Phi_{B_2} = 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 15 = 103,2 \cdot 10^{-7} (\text{Вб})$$

$$\Delta\Phi_{B_3} = 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 15 = 103,2 \cdot 10^{-7} (\text{Вб})$$

$$\Delta\Phi_{B_4} = 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 14 = 96,3 \cdot 10^{-7} (\text{Вб})$$

$$\Delta\Phi_{B_5} = 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 14 = 96,3 \cdot 10^{-7} (\text{Вб})$$

$$B_{B_1} = \frac{2 \cdot 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 16}{\pi \cdot 0,3^2} = 778,7 \cdot 10^{-7} (\text{Тл})$$

$$B_{B_2} = \frac{2 \cdot 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 15}{\pi \cdot 0,3^2} = 730 \cdot 10^{-7} (\text{Тл})$$

$$B_{B_3} = \frac{2 \cdot 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 15}{\pi \cdot 0,3^2} = 730 \cdot 10^{-7} (\text{Тл})$$

$$B_{B_4} = \frac{2 \cdot 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 14}{\pi \cdot 0,3^2} = 681,3 \cdot 10^{-7} (\text{Тл})$$

$$B_{B_5} = \frac{2 \cdot 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 14}{\pi \cdot 0,3^2} = 681,3 \cdot 10^{-7} (\text{Тл})$$

**Табл. 2**

$$\Delta\Phi_{\Gamma_1} = 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 10 = 68,8 \cdot 10^{-7} (\text{Вб})$$

$$\Delta\Phi_{\Gamma_2} = 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 8 = 55 \cdot 10^{-7} (\text{Вб})$$

$$\Delta\Phi_{\Gamma_3} = 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 9 = 61,9 \cdot 10^{-7} (\text{Вб})$$

$$\Delta\Phi_{\Gamma_4} = 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 10 = 68,8 \cdot 10^{-7} (\text{Вб})$$

$$\Delta\Phi_{\Gamma_5} = 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 8 = 55 \cdot 10^{-7} (\text{Вб})$$

$$B_{\Gamma_1} = \frac{2 \cdot 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 10}{\pi \cdot 0,3^2} = 486,7 \cdot 10^{-7} (\text{Тл})$$

$$B_{\Gamma_2} = \frac{2 \cdot 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 8}{\pi \cdot 0,3^2} = 389,3 \cdot 10^{-7} (\text{Тл})$$

$$B_{\Gamma_3} = \frac{2 \cdot 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 9}{\pi \cdot 0,3^2} = 438 \cdot 10^{-7} (\text{Тл})$$

$$B_{\Gamma_4} = \frac{2 \cdot 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 10}{\pi \cdot 0,3^2} = 486,7 \cdot 10^{-7} (\text{Тл})$$

$$B_{\Gamma_5} = \frac{2 \cdot 6,88 \cdot 10^{-7} \cdot 8}{\pi \cdot 0,3^2} = 389,3 \cdot 10^{-7} \text{ (Тл)}$$

$$B = 10^{-7} \cdot \sqrt{720,3^2 + 438^2} = 843 \cdot 10^{-7} \text{ (Тл)}$$

### Аналіз результатів:

Проаналізуємо кінцеву похибку результату. Враховуючи формули обчислення похибок, маємо, що відносна похибка вимірювання результату  $\delta B = \delta B_B + \delta B_{\Gamma} = 4,33\% + 8,88\% = 13,21\%$ . Враховуючи, що експеримент не мав на меті обчислення цієї величини з неймовірною точністю маємо відносно невелику величину похибки.

### Висновок:

Виконавши цю лабораторну роботу, ми навчилися визначати індукцію магнітного поля землі, його горизонтальну і вертикальну складові. Ми провели певні вимірювання й обчислення. Нами було встановлено, що магнітне поле землі має індукцію  $B \approx 843 \cdot 10^{-7} \text{ (Тл)}$ ;  $\delta = 13,21\%$  в місці проведення експерименту. Робота над лабораторною роботою була досить плідною.