

Міністерство освіти і науки України
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
Фізико-технічний факультет
Кафедра фізики та астрономії

Лабораторна робота ФПЕ-04М

ВИВЧЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОЇДА

м. Івано-Франківськ

Мета роботи: ознайомитися з холлівським методом вимірювання індукції магнітного поля

Загальні відомості

У просторі навколо провідника із струмом виникає магнітне поле, яке можна виявити по дії його на інший провідник зі струмом або магнітну стрілку. Магнітне поле в кожній точці простору кількісно може бути описано за допомогою вектора напруженості магнітного поля $\vec{H}$ або за допомогою вектора індукції магнітного поля $\vec{B}$. У вакуумі $\vec{H}$ і $\vec{B}$ зв'язані співвідношенням:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}, \quad (4.1)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ - магнітна стала.

Для обчислення напруженості і індукції магнітного поля використовують закон Біо-Савара-Лапласа, згідно якого елементарна напруженість магнітного поля $d\vec{H}$, що створюється елементом провідника із струмом $Jd\vec{l}$ в деякій точці простору на відстані $\vec{r}$, визначається виразом:

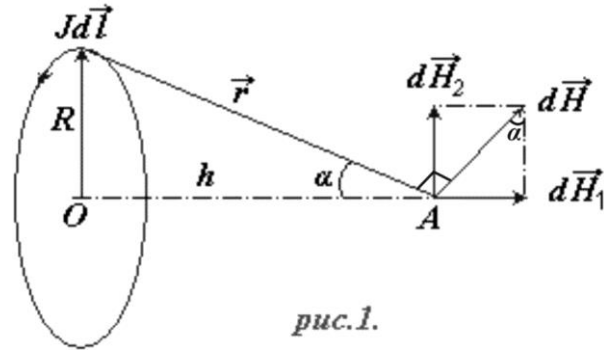
$$d\vec{H} = \frac{[Id\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi r^3}. \quad (4.2)$$

Для знаходження результуючої напруженості, що створюється провідником скінченного розміру, треба скористатися принципом суперпозиції магнітних полів і знайти векторну суму елементарних напруженостей:

$$\vec{H} = \sum_k d\vec{H}_k = \sum_k \frac{[Id\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi r^3}. \quad (4.3)$$

У граничному випадку сума записується у вигляді інтеграла по контуру провідника із струмом. Застосуємо формулу (4.3) для обчислення напруженості магнітного поля на осі соленоїда. Кожен виток соленоїда - це коловий струм,

тому спочатку обчислимо напруженість магнітного поля на осі колового витка із струмом (рис.1).



При додаванні складових магнітного поля $d\vec{H}_2$, перпендикулярних осі OA , вони компенсують одна одну внаслідок симетрії контура. Тому результуюча $d\vec{H}$ в точці A напрямлена уздовж осі кругового струму і рівна за модулем:

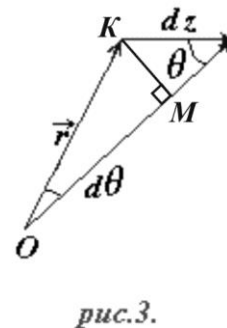
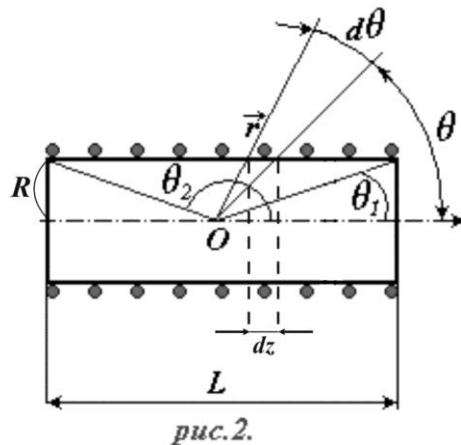
$$H = \int dH_1; \quad (4.4)$$

$$dH_1 = dH \sin \alpha = \frac{IdlR}{4\pi r^3}; \quad (4.5)$$

У (4.5) враховано, що вектори $d\vec{l}$ і $\vec{r}$ взаємно перпендикулярні. Підставляючи (4.5) в (4.4) і враховуючи, що величини R і r сталі, маємо:

$$H = \int_0^{2\pi R} \frac{IdlR}{4\pi r^3} = \frac{IR^2}{2r^3}. \quad (4.6)$$

Перейдемо тепер до обчислення поля соленоїда, зображеного на рис.2:



Нехай на одиницю довжини соленоїда припадає n витків. Тоді на ділянці dz буде ndz витків, які в точці O соленоїда, згідно (4.6), створять напруженість:

$$dH_z = \frac{IR^2}{2\pi^3} ndz. \quad (4.7)$$

На *рис.3* окремо зображені елемент dz , радіус-вектор $\vec{r}$ і кути θ і $d\theta$. З геометричних побудов *рис.2* і *рис.3* виходить:

$$r = \frac{R}{\sin \theta}, \quad dz = \frac{KM}{\sin \theta}, \quad KM = rd\theta, \quad (4.8)$$

$$\text{звідси } dz = \frac{rd\theta}{\sin \theta}.$$

Підставляємо (4.8) в (4.7) і інтегруємо в межах від θ_1 до θ_2 :

$$H_z = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{1}{2} In \sin \theta d\theta = \frac{1}{2} In(\cos \theta_1 - \cos \theta_2). \quad (4.9)$$

У разі нескінченного соленоїда:

$$\theta_1 = 0, \quad \theta_2 = \pi, \quad H_z = In, \quad n = \frac{W}{L}. \quad (4.10)$$

Метод вимірювання

Для експериментального дослідження напруженості магнітного поля на осі соленоїда в роботі використовується метод, що ґрунтується на ефекті Холла.

У роботі використовується датчик Холла марки *X501* із керуючим струмом *90 мА*, оскільки стала Холла для напівпровідників значно більша, ніж для провідників.

Силкові лінії магнітного поля на осі соленоїда направлені уздовж осі, тому датчик Холла розташований на торці спеціального штока, вставленого в соленоїд. Товщина датчика у напрямі магнітного поля рівна *0.2 мм*. Для

вимірювання положення датчика усередині соленоїда на бічній грані штока нанесена міліметрова шкала.

За відсутності магнітного поля ЕРС Холла повинна бути рівна нулю. Проте унаслідок різних побічних явищ, наприклад, неточної установки вихідних електродів датчика, можливе отримання ненульових значень навіть за відсутності струму в соленоїді. Для виключення похибки вимірювання проводять двічі при протилежних напрямках струму в соленоїді. В даній роботі зміну напрямку струму в соленоїді не передбачено. Похибка визначення ЕРС Холла вказана на касеті ФПЕ-04м і становить $\pm 0,5 \text{ мВ}$.

Ефект Холла

Якщо через провідну пластинку з поперечним перерізом $a \times h$ пропустити струм густиною $\vec{j}$ і помістити її в поперечне магнітне поле з індукцією $\vec{B}$, то перпендикулярно векторам $\vec{j}$ і $\vec{B}$

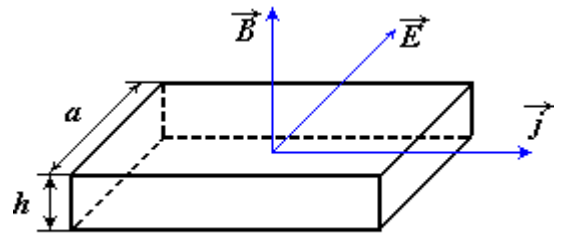


рис. 4.4

створюється електричне поле напруженістю $\vec{E}$ (рис.4.4). Виникаюча при цьому різниця потенціалів $\Delta\varphi_x$ (ЕРС Холла) пропорційна величині струму і індукції магнітного поля:

$$\Delta\varphi = R_x j B a = R_x \frac{IB}{h}, \quad (4.11)$$

де $I = j a h$.

Коефіцієнт пропорційності R_x називається *сталю Холла*.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Визначення залежності магнітної індукції в середній точці на осі соленоїда і тарировка датчика Холла.

1. Ознайомитись із установкою та принципом її дії.
2. Поставити шток з датчиком Холла в середнє положення на осі соленоїда («0» на шкалі).
3. Виміряти ЕРС Холла в центрі соленоїда для струмів 0,1;0,2;0,3;0,4;0,5 А, при цьому із виміряних значень необхідно вирахувати поправку $\delta\varphi_x = \pm 0,5$ мВ, вказану в паспорті. Дані занести в таблицю 1.

$N_2 \text{ } n/n$	I_C, A	$\Delta\varphi_x, B$	$B, Tл$	$R_x, B \cdot m / Tл \cdot A$
1				
2				
3				
4				
5				

4. Визначити індукцію магнітного поля для заданих значень сили струму I_C за формулами (4.10) і (4.1); дані занести в таблицю.
5. Обчислити значення сталої Холла R_x для кожного вимірювання за формулою (4.11); дані занести в таблицю. Знайти середнє значення R_x .

6. Побудувати графіки залежності $B=f(I_C)$ та $\Delta\varphi_x=f(I_C)$ за даними таблиці 4.1.

Завдання 2. Дослідження залежності індукції магнітного поля від координати z , відрахованої від середньої точки.

1. Встановити величину струму в котушці соленоїда за вказівкою викладача чи лаборанта (0,4 А).
2. Переміщуючи шток з датчиком Холла вздовж осі соленоїда з інтервалом $\Delta z=1\text{ см}$, виміряти ЕРС Холла. Отримані дані занести в таблицю 4.2.

Положення датчика z , мм														
ЕРС датчика Холла, В														
Індукція, Тл														

3. Визначити індукцію поля для кожного положення датчика Холла за формулою (4.11). При розрахунках використати значення R_x , отримані в завданні 1. Дані занести в таблицю 4.2.
4. Побудувати графік залежності $B=f(z)$ за даними таблиці 4.2.
5. Повторити вимірювання і розрахунки виконані в п.2 – 4 для нового заданого викладачем чи лаборантом значення I_C (0,6 А).
6. Для одного із отриманих значень B вирахувати абсолютну і відносну похибки вимірювань.

Контрольні питання

1. Сформулюйте закон Біо-Савара-Лапласа. Користуючись цим законом, виведіть формулу для індукції магнітного поля на осі кругового витка зі струмом.
2. Сформулюйте теорему про циркуляцію вектора B по контуру L . Використавши цю теорему виведіть формулу для індукції магнітного поля нескінченного соленоїда.
3. Використавши принцип суперпозиції виведіть формулу для індукції магнітного поля для нескінченного соленоїда.
4. Виведіть формулу для ЕРС Холла.
5. Нарисуйте схему вимірювань для дослідження залежності $B=f(z)$.