

Лабораторная работа № 4.

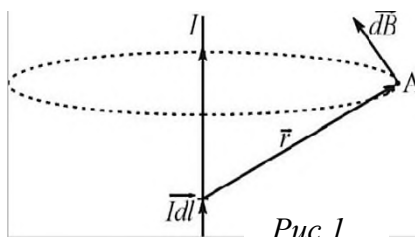
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКА ХОЛЛА

ЦЕЛЬ: экспериментально исследовать магнитное поле на оси короткого и длинного соленоида и сравнить его с расчетным.

ОБОРУДОВАНИЕ: регулируемый источник постоянного напряжения, миниблок «Соленоиды», миниблок «Ключ», два мультиметра, линейка.

Введение

Любой проводник с током создает вокруг себя магнитное поле, величина и конфигурация которого зависит от тока, протекающего по проводнику, и формы проводника. В общем случае значение вектора индукции магнитного поля описывается законом Био-Савара-Лапласа. Элемент тока Idl создает в точке A , отстоящей от Idl на расстоянии r поле, вектор индукции которого равен (рис. 1)



$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I[\vec{dl} \times \vec{r}]}{r^3} \quad (1)$$

Полное значение вектора $\vec{B}$, созданного проводником конкретной формы вычисляется с использованием принципа суперпозиции

$$\vec{B} = \int_l d\vec{B} \quad (2)$$

Например, в точке A (рис. 2) на оси соленоида (с однослойной катушкой) вектор индукции магнитного поля:

$$B = \mu\mu_0 \frac{In}{2} (\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2) \quad (3)$$

где $n = N/l$ - число витков на единицу длины соленоида,

α_1 и α_2 - углы, под которыми из точки A видны концы соленоида.

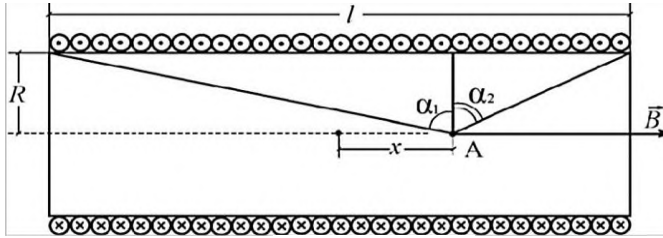


Рис.2

Если известно расстояние точки A от середины соленоида « x », то

$$\sin \alpha_1 = \frac{0.5l + x}{\sqrt{(0.5l + x)^2 + R^2}}$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{0.5l - x}{\sqrt{(0.5l - x)^2 + R^2}}$$

Т.е. модуль вектора $\vec{B}$ на оси соленоида в точке, отстоящей на расстоянии x от его середины равен

$$B = \mu\mu_0 \frac{IN}{2l} \left(\frac{0.5l+x}{\sqrt{(0.5l+x)^2+R^2}} - \frac{0.5l-x}{\sqrt{(0.5l-x)^2+R^2}} \right), \quad (4)$$

Как следует из полученной формулы для достаточно длинного соленоида ($l \gg R$) в средней его части ($\alpha_1 \approx \pi/2$, $\alpha_2 \approx -\pi/2$)

$$B = \mu\mu_0 In = \mu\mu_0 I \frac{N}{l} \quad (5)$$

и магнитное поле является практически однородным.

Если соленоид короткий ($l \approx R$), то магнитное поле его резко неоднородно и рассчитывается по формуле (4).

Метод измерений

В данной работе измерение вектора индукции магнитного поля основано на применении датчика Холла.

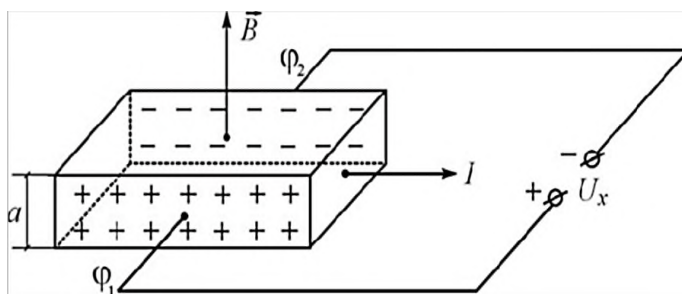


Рис.3

Явление Холла заключается в возникновении разности потенциалов ($U_x = |\varphi_1 - \varphi_2|$) при протекании постоянного тока I через проводящую пластину толщиной a , помещенную в магнитное поле, перпендикулярное направлению тока (рис. 3):

$$U_x = R_x \frac{IB}{a}$$

где R_x - постоянная Холла, зависящая от свойств пластины.

Эта разность потенциалов пропорциональна величине индукции магнитного поля B в той точке пространства, куда помещен датчик.

Т.к. датчик имеет малые размеры ($\sim$ мм), то с его помощью можно исследовать магнитное поле.

$$B(\text{Тл}) = a/IR_x, U(\text{мВ}) = \gamma U_x \quad (6)$$

Для перевода показаний датчика Холла U_x в значение вектора магнитной индукции $B(\text{Тл})$ достаточно знать градуировочный коэффициент γ данного датчика.

Описание установки

Установка (миниблок «Соленоиды») состоит из двух соленоидов (рис.4), закрепленных на панели. Короткий соленоид L_k (количество витков $N_k = 476$), закреплен снаружи длинного соленоида L_d (количество витков $N_d = 2380$). Середины соленоидов совпадают, совпадают и оси соленоидов. Вдоль оси соленоидов может перемещаться шток. Внутри штока помещен датчик Холла (Д.Х.). Расстояние датчика от середины соленоида x совпадает с расстоянием риски на штоке от конца катушки цилиндрического соленоида.

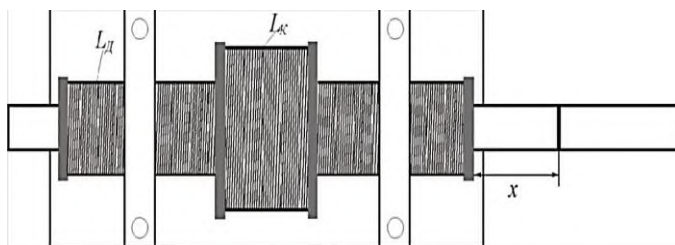


Рис. 4

Электрическая схема установки приведена на рис. 5. Питание соленоидов осуществляется от регулируемого источника постоянного напряжения «0...+15 В» 1. Ток в соленоидах измеряется миллиамперметром 2. Переключатель 7 позволяет подключать к источнику напряжения 1 либо длинный

соленоид 4 (положение переключателя А) либо короткий 5 (положение переключателя В). Измерение индукции магнитного поля соленоида осуществляется с помощью датчика Холла (Д.Х.)

6. Измерение холловой разности потенциалов U_x осуществляется с помощью вольтметра 8. Питание датчика Холла осуществляется от источника стабилизированного постоянного напряжения « $\pm 15 \text{ В}$ » 9.

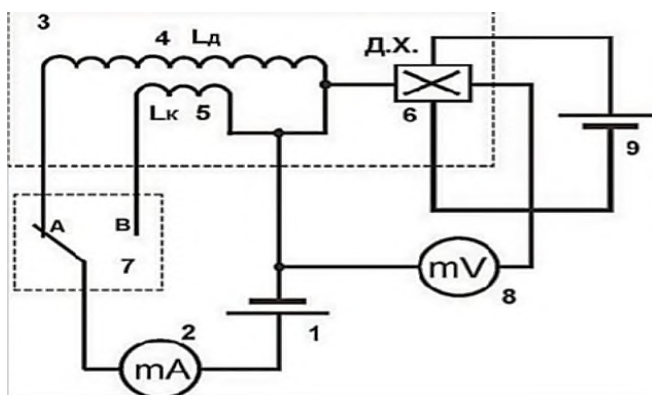


Рис. 5 Электрическая схема:

- 1 - регулируемый источник постоянного напряжения « $0 \dots +15 \text{ В}$ »;
- 2 - мультиметр (режим $A \approx 200 \text{ mA}$, входы COM, mA);
- 3 - миниблок «Соленоиды»;
- 4 - длинный соленоид с индуктивностью L_d ;
- 5 - короткий соленоид с индуктивностью L_k ;
- 6 - датчик Холла;
- 7 - миниблок «Ключ»;
- 8 - мультиметр (режим $V \approx 2 \text{ mV}$, входы $COM, V\Omega$);
- 9 - источник стабилизированного постоянного напряжения « $\pm 15 \text{ В}$ »

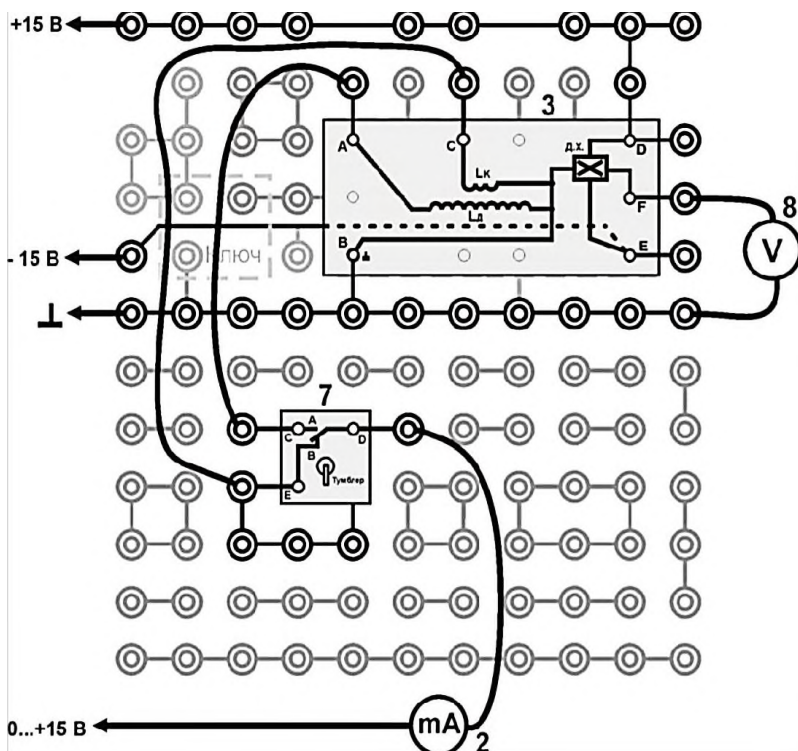


Рис. 6. Монтажная схема установки: 2, 3, 7, 8 – см. на рис.5

Порядок выполнения работы

Выполнение измерений

1. Соберите электрическую цепь по монтажной схеме, приведенной на рис. 6. Установите необходимые режимы измерения мультиметров 2 и 8 (см рис. 5).
2. Включите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров. Нажмите кнопку «Исходная установка» (поз. 19, см. рис. 1 на стр. 93).

Задание 1. Градуировка датчика Холла.

1. С помощью тумблера на миниблоке «Ключ» подключите питание к длинному соленоиду $N_d = 2380$ (положение А).
 2. Перемещая шток с датчиком Холла вдоль оси соленоида, установите его в середине соленоида (риски на штоке должна совпадать с концами цилиндрического соленоида).
- В таблицу 1 запишите параметры соленоида (оммическое сопротивление обмотки R , длина l , число витков N).
3. Кнопками установки напряжения «0...15 В» (поз.14, рис. 1, стр. 93) установите нулевой ток в соленоиде ($I=0$ мА) и запишите в таблицу 1 напряжение на датчике Холла U_0 (показания вольтметра 8). Значение U_0 обусловлено магнитным полем Земли и несимметричным расположением датчика.

Таблица 1

Параметры	$R = \dots \text{ Ом}, \quad l = \dots \text{ м}, \quad N_d = 2380 \dots$							
$I, \text{ мА}$	0	20	40	60	...	160	180	200
$U, \text{ мВ}$	U_0 =...							
$U - U_0, \text{ мВ}$	0							
$B, \text{ Тл}$	0							
γ	-							
$\gamma_{\text{ср}}$								

4. Изменяя ток в соленоиде от 0 до 200 мА (с интервалом 20 мА) зафиксируйте напряжение на датчике Холла U и результаты занесите в таблицу 1.
5. Рассчитайте магнитное поле, созданное только током в соленоиде.

Для этого из показаний датчика Холла U необходимо вычесть U_0 . Значение $U - U_0$ запишите в таблицу 1.

6. По формуле (5) для каждого значения тока рассчитайте и запишите в таблицу значения вектора магнитной индукции B .
7. Для каждого значения тока соленоида найдите отношение

$$\gamma = \frac{B(\text{Тл})}{(U - U_0)(\text{мВ})}$$

и рассчитайте его среднее значение $\gamma_{\text{ср}}$. В последующих упражнениях экспериментальное значение вектора магнитной индукции B_z (Тл) будете находить по формуле

$$B_z(\text{Тл}) = (U - U_0)\gamma_{\text{ср}} \quad (6)$$

Задание 2. Исследование магнитного поля на оси цилиндрического соленоида.

1. С помощью тумблера на миниблоке «Ключ» подключите питание к длинному соленоиду $N_d = 2380$ (положение А) и установите датчик Холла в середину соленоида ($x = 0$). В таблицу 2 запишите параметры соленоида.
2. Кнопками установки напряжения «0...15 В» (поз.14, рис. 1, стр. 93) установите нулевой ток в соленоиде ($I=0$ мА) и запишите в таблицу 1 напряжение на датчике Холла U_0 .
3. Кнопками установки напряжения «0...15 В» (поз.14, рис. 1, стр. 93) установите (по указанию преподавателя) ток I в соленоиде и его значение запишите в таблицу 2.

В течении всей работы ток I должен оставаться строго постоянным!

Таблица 2

Параметры	$R = \dots \text{Ом}, \quad l = \dots \text{м}, \quad N = \dots, \quad I = \dots \text{мА},$ $U_0 = \dots \text{мВ}$						
$x, \text{см}$	0	1	2	3	...	7	8
$U, \text{мВ}$							
$U - U_0,$ мВ							
$B_z, \text{Тл}$							
$B_T, \text{Тл}$							

4. Перемещая шток с датчиком Холла вдоль оси соленоида (с шагом 1 см), зафиксируйте напряжение на датчике Холла $U(\text{мВ})$ и результаты занесите в таблицу 2.

Помните! $x = 0$ соответствует положению датчика Холла в середине соленоида.

Примечание. Так как соленоид симметричный достаточно провести измерения, перемещая датчик в одну сторону. Для сомневающихся предлагается перемещать датчик в обе стороны.

5. Рассчитайте $U - U_0$ (поле, созданное только током) для каждого положения датчика и результаты занесите в таблицу 2.

6. Рассчитайте индукцию магнитного поля соленоида B_z по формуле (6), используя градуировочный коэффициент $\gamma_{\text{ср}}$. (см упр.1). Результаты занесите в таблицу 2.

7. Для соответствующих значений x (положений датчика Холла) проведите теоретический расчет индукции магнитного поля B_T по формуле (4). Результаты занесите в таблицу 2.

8. Постройте графики зависимости B_z и B_T от положения датчика Холла x : $B_z = f(x)$ и $B_T = f(x)$. Сравните их и сделайте выводы.

Задание 3. Исследование магнитного поля на оси короткого соленоида.

1. С помощью тумблера на миниблоке «Ключ» подключите питание к короткому соленоиду $N_k = 476$ (положение В).

2. Повторите пункты 2-8 упражнения 2, но при шаге перемещения датчика – 2 мм.

3. Выключите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров.

Контрольные вопросы

1. Что такое вектор индукции магнитного поля?
2. Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа.
3. В чем заключается принцип суперпозиции?
4. Как можно рассчитать магнитное поле соленоида?
5. Как можно получить однородное магнитное поле?
6. В чем отличие магнитных полей короткого и длинного соленоида?
7. В чем заключается явление Холла?
8. Как устроен датчик Холла и как с его помощью можно исследовать магнитное поле?
9. Физический смысл градуировочного коэффициента датчика Холла?
10. Как можно экспериментально определить градуировочный коэффициент для датчика Холла?
11. Как при измерении магнитного поля соленоида можно исключить влияние магнитного поля Земли и несимметричность расположения датчика?