

## Лабораторная работа № 33

### Изучение магнитного поля соленоида с помощью датчика Холла

Цель работы: измерение индукции магнитного поля на оси соленоида конечной длины

#### Методика эксперимента

Соленоидом называется цилиндрическая катушка, состоящая из большого числа витков проволоки, образующих винтовую линию. Магнитное поле тока, текущего по соленоиду, показано на рис. 1 .

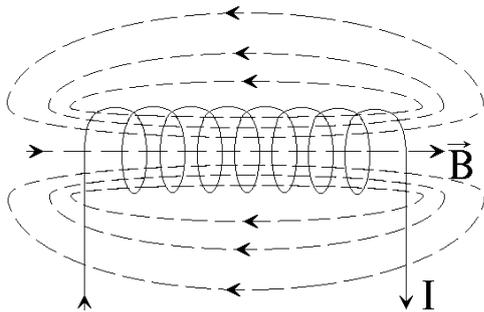


Рис. 1

Если витки расположены вплотную друг к другу, то соленоид можно рассматривать как систему последовательно соединенных круговых токов одинакового радиуса с общей осью. На рис. 2 показано сечение такого соленоида радиуса  $R$  и длины  $L$  . Ток в соленоиде  $I$  .

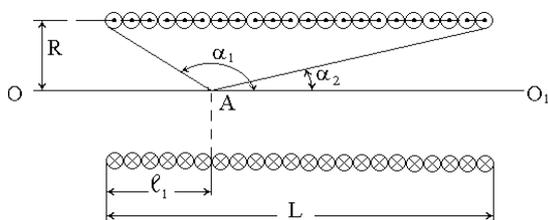


Рис. 2

Магнитная индукция  $\vec{B}$  поля соленоида в произвольной точке  $A$ , лежащей на оси соленоида  $OO_1$ , равна

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1), \quad (1)$$

где

$$\cos \alpha_1 = -l_1 / \sqrt{R^2 + l_1^2} ;$$

$$\cos \alpha_2 = (L - l_1) / \sqrt{R^2 + (L - l_1)^2} ;$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м};$$

$n$  – число витков на единицу длины соленоида.

Из (1) можно показать, что в центре соленоида:  $l_1 = L/2$ , магнитная индукция  $\vec{B}$  достигает максимальной величины

$$B_{\max} = \mu_0 n I / \sqrt{1 + (2R/L)^2} . \quad (2)$$

Если  $L \gg R$ , то соленоид можно считать бесконечно длинным и из (1) следует, что магнитное поле такого соленоида однородно и полностью локализовано внутри соленоида

$$B = \mu_0 n I . \quad (3)$$

Для экспериментального исследования индукции магнитного поля на оси соленоида используют метод, основанный на явлении Холла. Явлением Холла называется возникновение поперечного электрического поля в проводнике или полупроводнике с током  $I_n$  при помещении его в магнитное поле. Это явление обусловлено влиянием силы Лоренца на движение носителей тока. На рис. 3 показано направление силы Лоренца

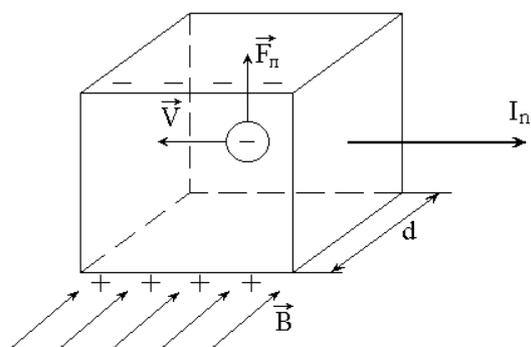


Рис. 3

$F_L$ , действующей на электроны проводимости в металле или в полупроводнике. Под действием этой силы электроны отклоняются вверх, так что на верхней грани возникает избыток электронов, а на нижней грани – избыток положительных зарядов. В итоге возникает поперечное электрическое поле. Отклонение электронов в поперечном направлении происходит до тех пор, пока действие

электрического поля не уравнивает силу Лоренца. Возникающая разность потенциалов между этими гранями проводника равна

$$\Delta\varphi = R_H I_n B/d, \quad (4)$$

где

$d$  – линейный размер проводника в направлении  $\vec{B}$ ;

$R_H = 1/ne$  – постоянная Холла;

$e$  – заряд электрона;

$n$  – концентрация электронов.

В данной работе используется полупроводниковый датчик Холла, поскольку у полупроводников концентрация носителей заряда на несколько порядков меньше, чем у металлов и, соответственно, во столько же раз больше возникающая разность потенциалов.

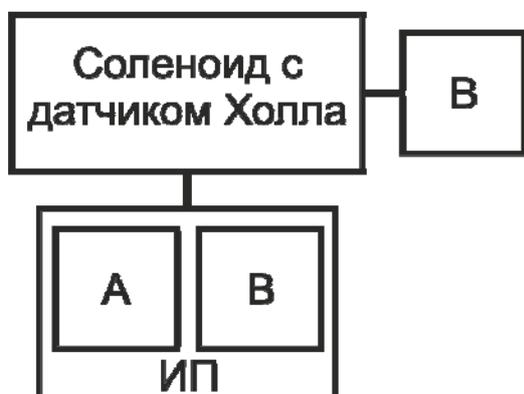


Рис. 4

Описание установки

Принципиальная схема

измерений приведена на рис. 4:

ИП – источник питания с измерителями тока и напряжения, подаваемых на соленоид. Датчик Холла расположен на торце специального штока, вставляемого в соленоид. Для измерения положения датчика внутри соленоида на боковой грани штока нанесена миллиметровая

шкала. Датчик Холла передаёт на вольтметр напряжение эквивалентное измеренному магнитному полю.

### Порядок выполнения работы

Исследование зависимости индукции магнитного поля от координаты  $z$ .

1. Запишите радиус и длину соленоида.  $R =$  м,  $L =$  м.
2. Проведите калибровку датчика магнитного поля. Она проводится для того, чтобы перевести показания вольтметра (В) в величину магнитной индукции (Тл).

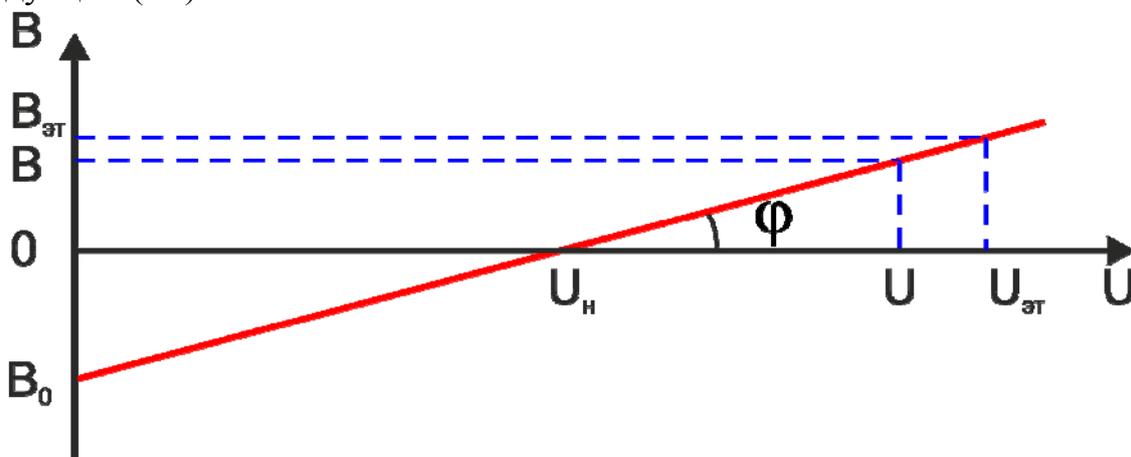


Рис. 5. Зависимость индукции магнитного поля  $B$  от выходного напряжения датчика  $U$ .

На рис. 5 показана зависимость между индукцией магнитного поля  $B$  и напряжением датчика  $U$ . Эта зависимость линейна и выражается формулой  $B = B_0 + kU$ , где  $k = \operatorname{tg} \varphi$  — угловой коэффициент прямой. Необходимо определить значения  $B_0$  и  $k$  по двум точкам.

Для нахождения первой точки, нужно измерить показания датчика  $U_n$  при  $B = 0$ . Для этого установить датчик внутри соленоида и, не включая ток в нем, включить блок питания датчика в розетку. Записать показания  $U_n$ .

Для определения второй точки служит эталон магнитного поля  $B_{\text{эт}}$ . Для этого вынуть датчик из катушки, приложить его вплотную к эталону и записать показания  $U_{\text{эт}}$ .

Подставляя две пары полученных значений в уравнение прямой, получим систему двух уравнений:

$$\begin{cases} 0 = B_0 + kU_n \\ B_{\text{эм}} = B_0 + kU_{\text{эм}} \end{cases}, \quad (5)$$

из которой выразим параметры прямой  $k = \frac{B_{\text{эм}}}{U_{\text{эм}} - U_n}$ ;  $B_0 = -kU_n$ .

Имеем окончательную формулу для пересчета выходного напряжения датчика  $U$  в индукцию магнитного поля  $B$ :

$$B = k(U - U_n), \text{ где } k = \frac{B_{эм}}{U_{эм} - U_n}. \quad (6)$$

Вычислите по этой формуле и запишите угловой коэффициент  $k$  (Тл/В).

3. Установите силу тока в катушке соленоида в пределах 1,75 – 2,4 А (по указанию преподавателя).

4. Установите шток с датчиком в соленоиде так, чтобы датчик был вровень с правым концом центральной трубки соленоида. Запишите показания вольтметра в столбик  $U$ .

5. Выдвигая шток с датчиком Холла вдоль оси соленоида через  $\Delta z = 2$  см по всей длине соленоида, измерьте напряжение датчика  $U$ . Данные занесите в табл. 2.

6. Вычислите величину  $U - U_n$  и занесите в таблицу.

7. Пересчитайте показания вольтметра  $U$  в величину магнитной индукции  $B$ , используя значения  $U_n$  и  $k$ , по формуле (6) и запишите в таблицу.

$R =$  м,  $L =$  м.

$U_n = \dots$				Таблица 2
№	$z, 10^{-2}$ м	$U, В$	$U - U_n, В$	$B = k(U - U_n), Тл$
1	0			
2	2			
3	4			
4	6			
32	64			

8. Постройте график  $B = f(z)$  по:

8.1 экспериментальной зависимости (табл. 2).

8.2 теоретической зависимости в соответствии с (1) и (2) для произвольно выбранных  $5 \div 7$  точек.

8.3 для бесконечно длинного соленоида в соответствии с (3).

9. Сравнить экспериментальные и теоретические зависимости и, если они не совпали, описать возможные причины.

#### Контрольные вопросы.

1. Используя закон Био – Савара – Лапласа, рассчитайте индукцию магнитного поля соленоида конечной длины.

2. Объясните сущность метода измерения индукции магнитного поля при помощи датчика Холла.