

**Министерство образования Российской Федерации  
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА  
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторной работе № 53  
по курсу общей физики**

**Уфа 2003**

**Министерство образования Российской Федерации  
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА  
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторной работе № 53  
по курсу общей физики**

**Уфа 2003**

**Министерство образования Российской Федерации  
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра общей физики**

**ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА  
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторной работе № 53  
по курсу общей физики**

**Уфа 2003**

Составитель С.А. Шатохин  
УДК 537.6  
ББК 22.33

Изучение магнитного поля соленоида. Методические указания к лабораторной работе № 53 по курсу общей физики/ Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. С. А. Шатохин. – Уфа, 2003. – 10 с.

Рассмотрены характеристики магнитного поля и методика экспериментального определения величины вектора магнитной индукции с помощью датчика Холла.

Предназначены для студентов, изучающих явления электромагнетизма в лабораторном практикуме по курсу общей физики.

Рецензенты: В. Р. Строкина  
Ф. Ш. Шарифьянов

## Содержание

	стр.
1.Цель работы.....	4
2.Теоретическая часть.....	4
2.1.Характеристики магнитного поля.....	4
2.2.Закон полного тока.....	5
2.3.Магнитное поле соленоида.....	6
3.Метод измерений.....	7
4.Требования к технике безопасности.....	8
5.Порядок выполнения работы.....	9
6.Требования к отчету.....	10
7.Контрольные вопросы.....	10
Список литературы.....	11

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 53

### ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА

#### 1. Цель работы

Овладение практическими навыками измерения индукции магнитного поля соленоида с помощью датчика Холла.

#### 2. Теоретическая часть

##### 2.1. Характеристики магнитного поля

В пространстве, окружающем проводники с током или движущиеся заряды, возникает магнитное поле, которое можно обнаружить по его воздействию на другие проводники с током или постоянные магниты. Магнитное поле в каждой точке пространства количественно может быть охарактеризовано с помощью вектора напряженности магнитного поля  $\mathbf{H}$  или с помощью вектора индукции магнитного поля  $\mathbf{B}$ . В вакууме векторы  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{H}$  связаны между собой соотношением

$$\mathbf{B} = \mu_0 \cdot \mathbf{H} \quad (2.1)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная.

Вектор индукции  $\mathbf{B}$  является силовой характеристикой магнитного поля, его величина численно равна силе, действующей на единичный пробный элемент с током  $(I \cdot \Delta l)$ , расположенный перпендикулярно к направлению поля. Это определение непосредственно связано с законом Ампера, который описывает силовое действие магнитного поля на проводник с током:

$$B = \frac{F}{(I \cdot \Delta l) \cdot \sin 90^\circ} \quad (2.2)$$

Так как длина проводника  $\Delta l$  может быть сколь угодно мала, то выражение (2.2) в принципе можно использовать для определения величины индукции  $\mathbf{B}$  в каждой точке поля. В системе СИ единицей измерения магнитной индукции является Тесла: Тл = Н/А·м. Направление вектора  $\mathbf{B}$  принято выбирать таким же, как у магнитной стрелки магнитного диполя, помещенной в данную точку поля. Магнитные поля принято изображать с помощью линий магнитной индукции, касательная к которым совпадает с направлением вектора  $\mathbf{B}$ .

## 2.2. Закон полного тока

Существуют два закона, связывающих индукцию магнитного поля  $\mathbf{B}$  с порождающим его током: закон Био-Савара-Лапласа и закон полного тока. (В электростатике аналогичная картина — закон Кулона и теорема Остроградского- Гаусса). Закон полного тока является математическим выражением вихревого характера магнитного поля. В этом случае циркуляция вектора магнитной индукции, то есть величина

$$\sum_k B_k dl_k = B_1 dl_1 + B_2 dl_2 + \dots + B_i dl_i \quad (2.3)$$

вдоль замкнутого контура  $L$  (Рис. 2.1), пропорциональна алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром.

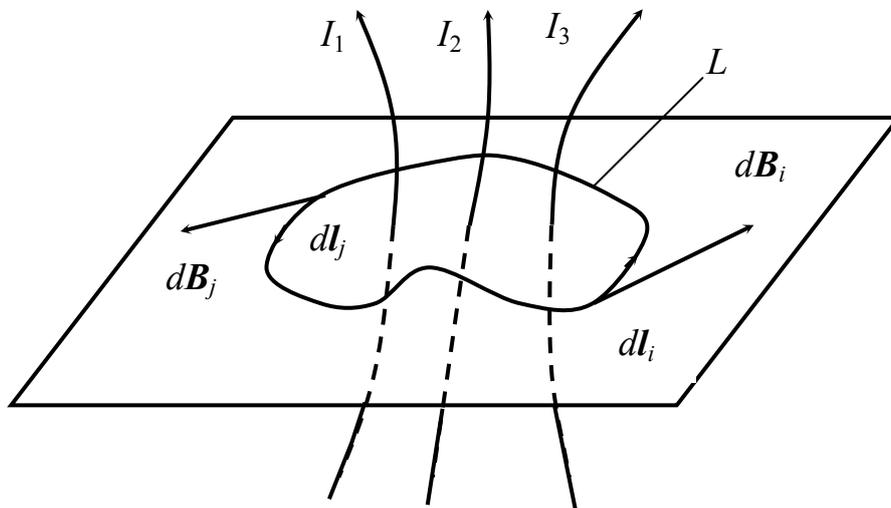


Рис. 2.1

В выражении для циркуляции (2.3) все  $d\mathbf{l}_i$  представляют собой длины отрезков, на которые разбивается контур  $L$  (направление вектора  $d\mathbf{l}_i$  совпадает с направлением обхода при суммировании), а  $\mathbf{B}_i$  — вектор индукции в пределах  $d\mathbf{l}_i$ . В интегральном исчислении такая величина называется криволинейным интегралом. Поэтому строгая математическая запись закона полного тока имеет вид

$$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \sum_i I_i \quad (2.4)$$

Величина тока при суммировании берется со знаком плюс, если направление тока согласуется с направлением обхода контура  $L$  по правилу правого винта. В противном случае значение тока считается отрицательным.

### 2.3. Магнитное поле внутри соленоида

Электрический ток, проходя через обмотку соленоида, создает во внутренней полости магнитное поле. Если длина соленоида во много раз превосходит его диаметр, то такой соленоид можно с хорошим приближением считать бесконечно длинным.

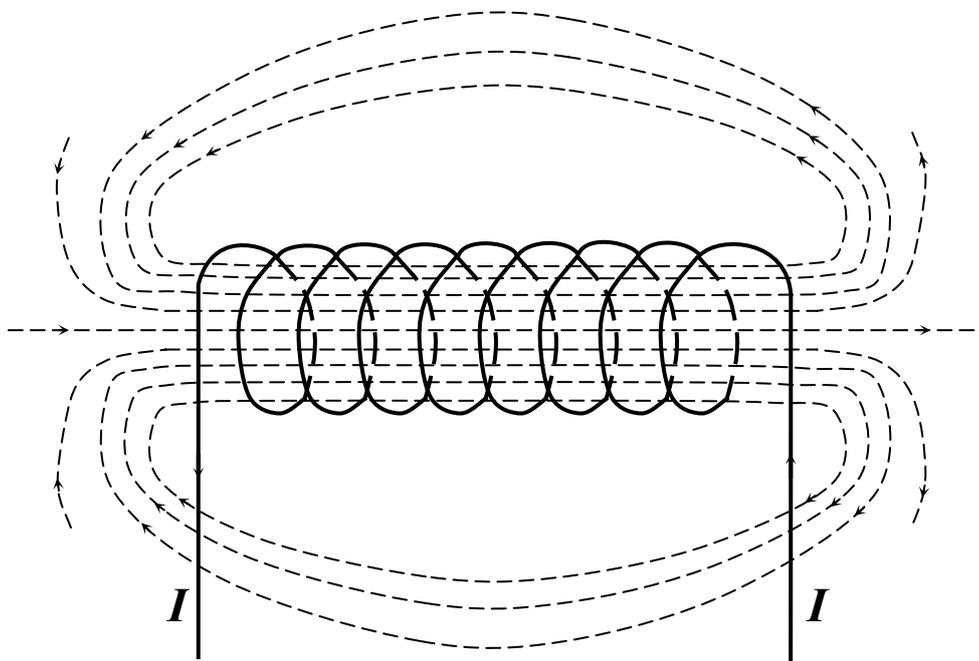


Рис. 2.2

В этом случае магнитное поле снаружи пренебрежимо мало, а поле внутри соленоида практически однородно (неоднородность проявляется лишь около его концов рис. 2.2).

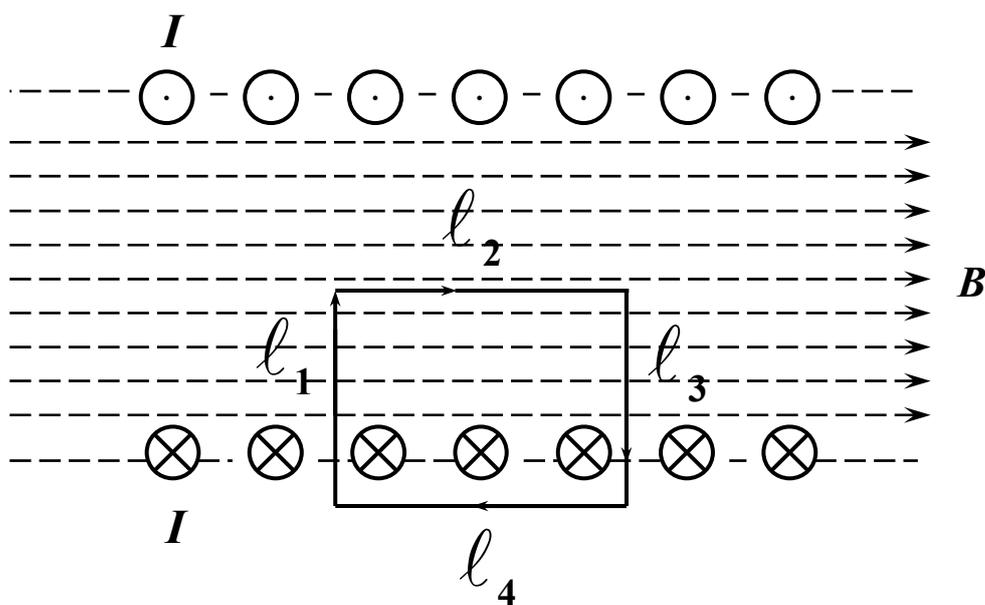


Рис. 2.3

Для вычисления индукции внутри соленоида по обмотке которого идет ток  $I$ , можно воспользоваться законом полного тока. Для этого вычислим сначала циркуляцию вдоль замкнутого контура  $L$ , который в данном случае для упрощения суммирования удобно взять в виде прямоугольника, как показано на рис. 2.3 (закон полного тока справедлив для контура любой формы).

Тогда циркуляция распадается на четыре составные части:

$$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \oint_{l_1} B_1 \cdot dl_1 + \oint_{l_2} B_2 \cdot dl_2 + \oint_{l_3} B_3 \cdot dl_3 + \oint_{l_4} B_4 \cdot dl_4 \quad (2.5)$$

Из рис. 2.3 видно, что суммирование вдоль участков  $l_1$ ,  $l_3$  и  $l_4$  равно нулю, поскольку вектор индукции в этих случаях либо перпендикулярен отрезкам  $d\mathbf{l}_i$ , либо равен нулю (вне соленоида). Таким образом,

$$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \int_{l_2} B \cdot d\mathbf{l} = \int_{l_2} B \cdot d\mathbf{l} \cdot \cos 0^\circ = B \int_{l_2} dl = B \cdot l_2 \quad (2.6)$$

где учтено, что величина и направление вектора  $\mathbf{B}$  на участке  $l_2$  внутри соленоида для всех  $d\mathbf{l}_i$  одинаковы.

Пусть на единицу длины соленоида приходится  $n$  витков. Тогда контур  $L$  будет охватывать  $N=n \cdot l_2$  проводников с током  $I$ , а значит

$$\mu_0 \sum_i I_i = \mu_0 NI = \mu_0 n l_2 I. \quad (2.7)$$

Приравнивая (2.6) и (2.7), в соответствии с законом полного тока, получим:

$$B = \mu_0 n I \quad (2.8)$$

### 3. Метод измерений

Для экспериментального исследования индукции магнитного поля на оси соленоида в настоящей работе используется метод, основанный на явлении Холла. Если через проводящую пластинку с поперечным сечением  $a \times b$  пропустить ток плотностью  $\mathbf{j}$  и поместить ее в поперечное магнитное поле с индукцией  $\mathbf{B}$ , то на движущиеся носители зарядов будет действовать сила Лоренца. В результате на одной грани пластинки будут скапливаться положительные, а на другой — отрицательные заряды. Таким образом, возникает добавочное электрическое поле, напряженность которого  $\mathbf{E}$  перпендикулярна векторам  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{j}$  (рис. 3.1). Возникающая при этом разность потенциалов называется ЭДС Холла. Величина  $\Delta\phi$  между боковыми гранями пропорциональна величине тока  $i$  и индукции  $\mathbf{B}$ :

$$\Delta \varphi = R \frac{i \cdot B}{b} \quad (3.1)$$

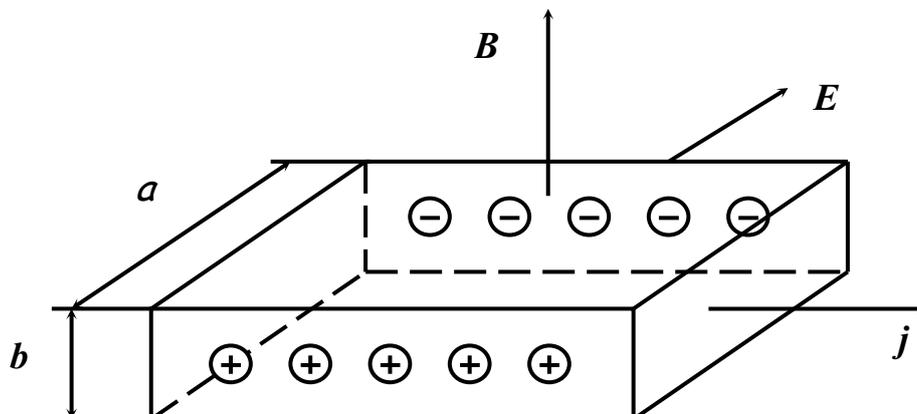


Рис. 3.1

Коэффициент пропорциональности  $R$  называется постоянной Холла. В работе используется полупроводниковый датчик Холла марки ДХГ-2 с управляющим током  $i = 12$  мА. Поскольку линии магнитной индукции внутри соленоида направлены вдоль оси, то датчик Холла располагается на торце специального штока, вставляемого в соленоид. Для измерения положения датчика внутри соленоида на боковой грани штока нанесена миллиметровая шкала.

#### 4. Требования к технике безопасности

1. Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с заданием и оборудованием.
2. Проверьте заземление лабораторной установки и изоляцию токонесущих проводов.
3. Немедленно сообщите преподавателю или лаборанту о замеченных неисправностях.
4. Не загромождайте свое рабочее место оборудованием, не относящимся к выполняемой работе.
5. Не оставляйте без присмотра свою лабораторную установку, это может привести к несчастному случаю.
6. По окончании работ приведите в порядок свое рабочее место. Обесточьте все лабораторные приборы.
7. Запрещается уходить из лаборатории без разрешения преподавателя.

## 5. Порядок выполнения работы

**Задание 1.** Определение зависимости магнитной индукции в средней точке на оси соленооида и тарировка датчика Холла.

Таблица 5.1

№	$I_c$ , А	$\Delta\varphi$ , В	$B$ , Тл	$R$ , В·м/Тл·А
1				
2				
3				
...				

1. Собрать схему, изображенную на рис. 5.1.
2. Поставить штوك с датчиком Холла в среднее положение на оси соленооида («0» по шкале).
3. Включить источник питания и цифровой вольтметр в сеть. Измерить ЭДС Холла в центре соленооида для токов 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 А. Данные занести в табл. 5.1.
4. Вычислить индукцию магнитного поля по формуле (2.8), полагая  $n = 17 \cdot 10^3$  витков/м; данные занести в табл. 5.1.
5. Вычислить значение постоянной Холла  $R$  для каждого измерения по формуле (3.1); данные занести в табл. 5.1. Найти среднее значение  $R$ .
6. Построить график зависимости  $\Delta\varphi = f(I_c)$  по данным табл. 5.1.

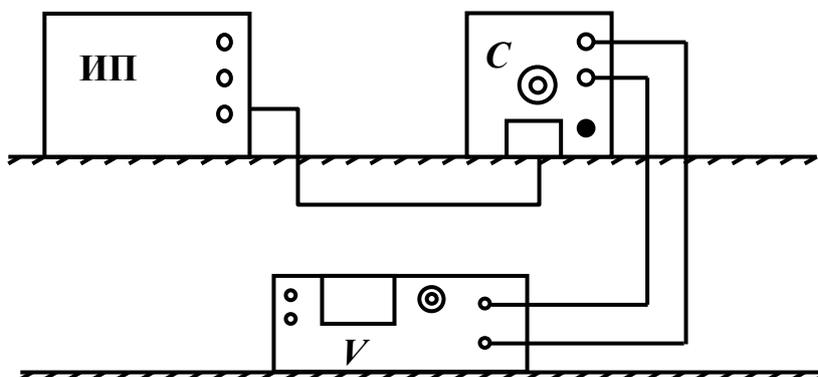


Рис. 5.1

**Задание 2.** Исследование зависимости индукции магнитного поля от координаты  $Z$  вдоль оси соленооида, отсчитываемой от средней точки.

1. Установить величину тока в катушке по указанию преподавателя.
2. Перемещая шток с датчиком Холла с интервалом  $\Delta Z = 1$  см измерить ЭДС Холла вдоль всей оси соленооида. Полученные данные занести в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Ток соленоида $I_c = \dots$ А						
$Z$ , мм	0	10	20	30	40	...
$\Delta\varphi$ , В						
$B$ , Тл						

3. Вычислить индукцию поля  $B$  для каждого положения датчика Холла по формуле (3.1). При расчете использовать значение  $R$ , полученное в задании 1. Данные занести в табл. 5.2.

4. Построить график зависимости  $B$  от  $Z$  по данным табл. 5.2.

5. Повторить измерения и расчеты по пп. 2 – 4 для нового значения  $I_c$ , указанного преподавателем.

6. Для одного из полученных значений  $B$  рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерения.

## 6. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) название и номер лабораторной работы;
- 2) основные формулы для выполнения работы;
- 3) таблицы с результатами измерений и вычислений;
- 4) графики на миллиметровой бумаге;
- 5) расчеты погрешностей измерений;
- 6) выводы к работе.

## 7. Контрольные вопросы

1. Какие существуют характеристики магнитного поля?
2. Как определяется величина и направление вектора магнитной индукции магнитного поля?
3. Как вычисляется циркуляция вектора магнитной индукции?
4. Почему магнитное поле является вихревым?
5. Как формулируется закон полного тока? Какие величины и как он объединяет?
6. Как используется закон полного тока при расчете магнитного поля внутри соленоида?
7. Какое явление лежит в основе экспериментального определения магнитного поля соленоида?

## Список литературы

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Т. 2. – М.: Наука. Физмат, 1998.
2. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 1999.

Составитель ШАТОХИН СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

## ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 53  
по курсу общей физики

Редактор Соколова О.А.

ЛР № 020258 от 01.08.98

Подписано в печать 19.02.2003. Формат 60 x 84 1/16.

Бумага оберточная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 0,7. Усл.-кр.-отг. 0,7. Уч-изд.л 0,6.

Тираж 350 экз. Заказ №

Уфимский государственный авиационный технический университет

Уфимская типография №2 Министерства печати и массовой информации

Республики Башкортостан

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12