

**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 Δl 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.

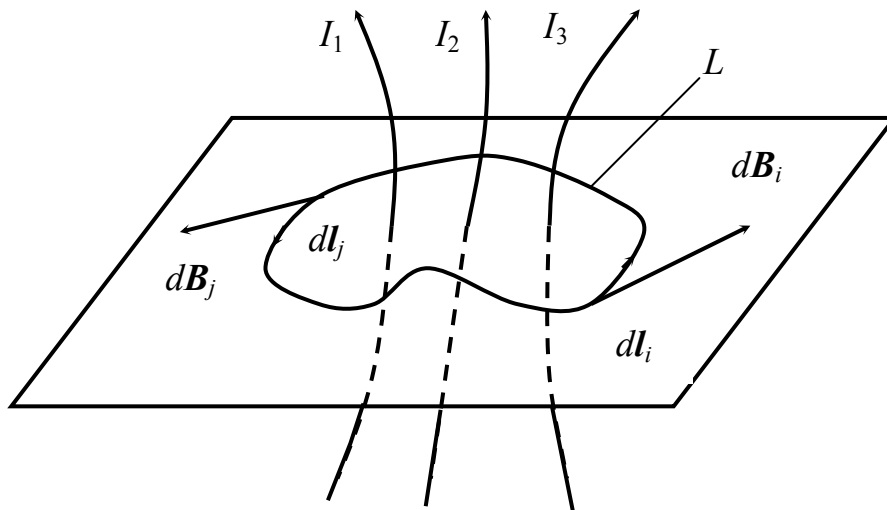


Рис. 2.1

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.

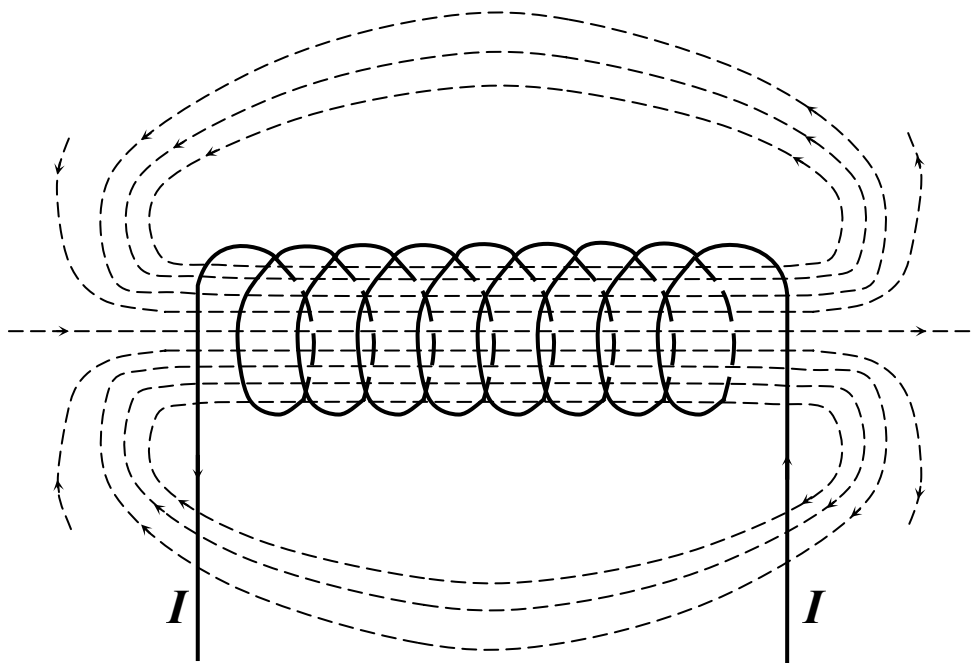


Рис. 2.2

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

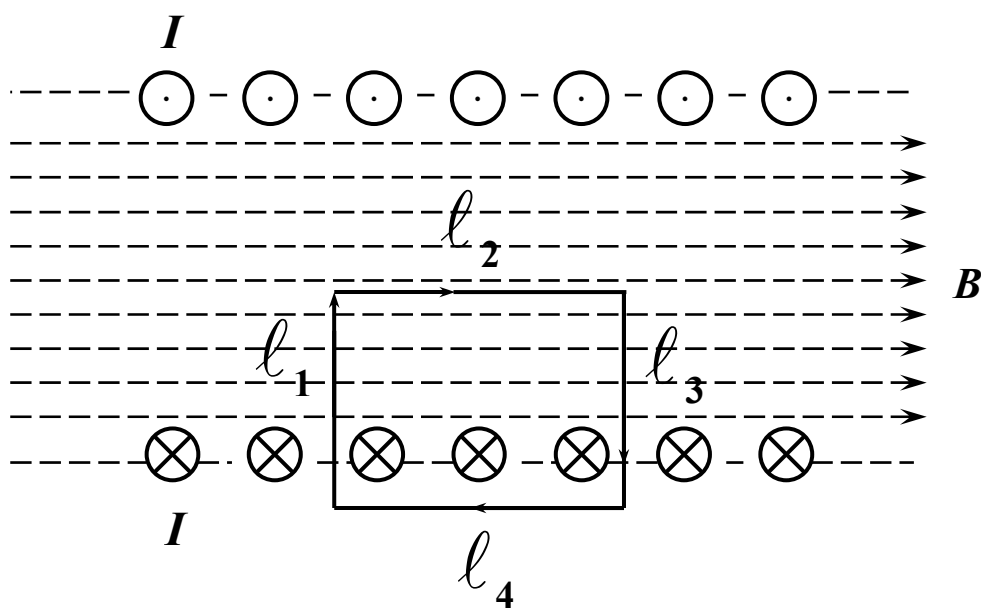


Рис. 2.3

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,

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

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} :

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

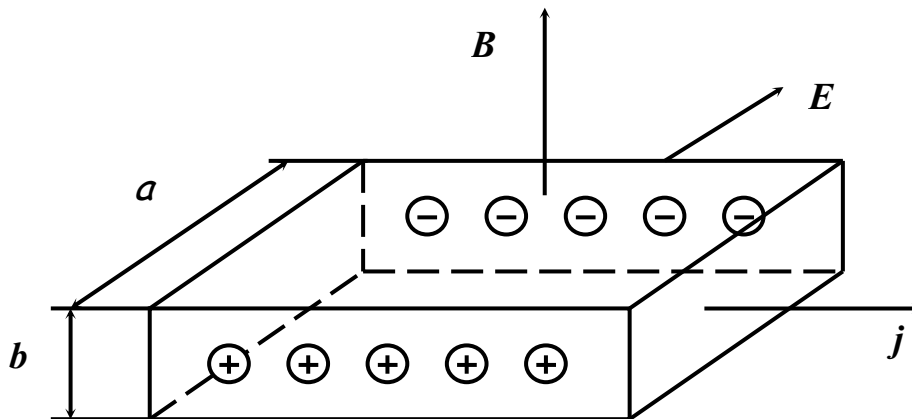


Рис. 3.1

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.

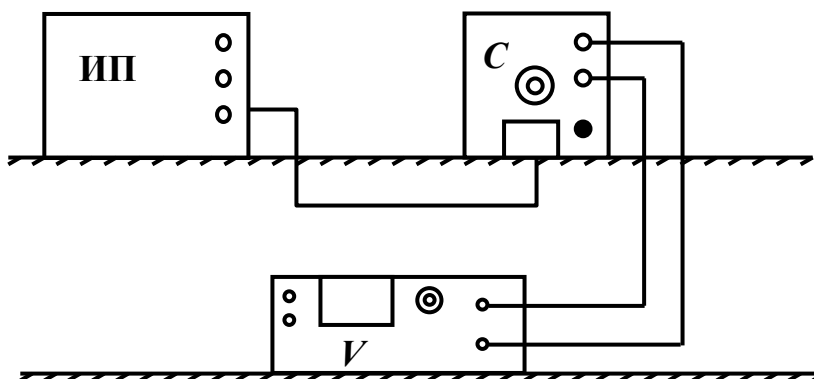


Рис. 5.1

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 штук 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