

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Оренбургский государственный университет»

Кафедра физики и методики преподавания физики

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКА ХОЛЛА

Методические указания

Составители О.Г. Белокопытова, Е.В. Цветкова

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящим в образовательные области «Математические и естественные науки» и «Инженерное дело, технологии и технические науки»

Оренбург
2021

УДК 537.8(076.5)
ББК 22.334я7
И 39

Рецензент – доцент, кандидат физико-математических наук Ю.Д. Лантух

И 39 **Изучение магнитного поля соленоида с помощью датчика Холла:**
методические указания/ составители О.Г. Белокопытова,
Е.В. Цветкова; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2021. – 13
с.

Методические указания содержат требования и необходимый вспомогательный материал для выполнения лабораторной работы по курсу «Электричество и магнетизм».

Методические указания для обучающихся по образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки, входящим в образовательные области "Математические и естественные науки" и "Инженерное дело, технологии и технические науки".

УДК 537.8(076.5)
ББК 22.334я7

© Белокопытова О.Г.,
Цветкова Е.В.,
составление, 2021
© ОГУ, 2021

Содержание

1 Изучение магнитного поля соленоида с помощью датчика холла	4
2 Методика измерений.....	8
3 Практическая часть	10
Контрольные вопросы.....	13
Список использованных источников	13

1 Изучение магнитного поля соленоида с помощью датчика холла

Цель работы: познакомиться с холловским методом измерения индукции магнитного поля, измерить индукцию магнитного поля на оси соленоида.

Введение

С необходимостью измерения величины и направления вектора магнитного поля различной напряжённости и происхождения сталкиваются не только физики, работающие в области магнитного резонанса, но и геофизики, астро- и космофизики, археологи, медики и биологи, заинтересованные в таком исследовании образцов, которое не влечёт за собой их разрушения, а также специалисты других направлений.

Для измерения напряжённости сильных и слабых магнитных полей в физических экспериментах используют магнитометры разного рода. Магнитометры широко используют для измерения магнитного поля Земли, для обнаружения магнитных аномалий различных типов и для определения дипольного момента магнитных материалов.

В пространстве, окружающем проводники с током или движущиеся заряды, возникает магнитное поле, которое можно обнаружить по воздействию его на другой проводник с током или магнитную стрелку. Магнитное поле в каждой точке пространства количественно может быть описано с помощью вектора напряжённости магнитного поля \vec{H} или с помощью вектора индукции магнитного поля \vec{B} . Векторы \vec{B} и \vec{H} связаны соотношением:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H} \quad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная, μ – магнитная проницаемость вещества, показывающая, во сколько раз магнитная индукция в веществе больше, чем в вакууме. Для вакуума $\mu=1$.

Вектор напряженности \vec{H} характеризует только поле макротоков (проводимости или конвекционных), а вектор магнитной индукции \vec{B} – результирующее поле и макро-, и микротоков в веществе, возникших в результате намагничивания магнетика.

Для вычисления напряженности и индукции магнитного поля используют закон Био-Савара-Лапласа, согласно которому элементарная напряженность магнитного поля \vec{dH} , создаваемая элементом проводника с током $I\vec{dl}$ в некоторой точке пространства на расстоянии \vec{r} , определяется выражением:

$$\vec{dH} = \frac{[I\vec{dl} \times \vec{r}]}{4\pi r^3} \quad (2)$$

Для нахождения результирующей напряженности, создаваемой проводником конечных размеров, надо воспользоваться принципом суперпозиции: напряженность \vec{H} магнитного поля, созданного проводником конечных размеров, равна векторной сумме элементарных напряженностей \vec{dH} магнитных полей, созданных каждым элементом тока в отдельности

$$\vec{H} = \sum \vec{dH}$$

или в общем случае интегралу по контуру с током:

$$\vec{H} = \oint_L \vec{dH} \quad (3)$$

Применим формулы (2) и (3) для вычисления напряженности магнитного поля на оси соленоида. Каждый виток соленоида – это круговой ток, поэтому первоначально вычислим напряженность поля на оси кругового витка с током (рисунок 1).

Элементарная напряженность \vec{dH} поля, созданного в точке А элементом тока $I\vec{dl}$, направлена по правилу буравчика перпендикулярно радиус-вектору \vec{r} , проведенному от элемента тока в точку А (рисунок 1), а ее модуль можно найти из (2):

$$dH = \frac{I dl \sin \beta}{4\pi r^2} \quad (4)$$

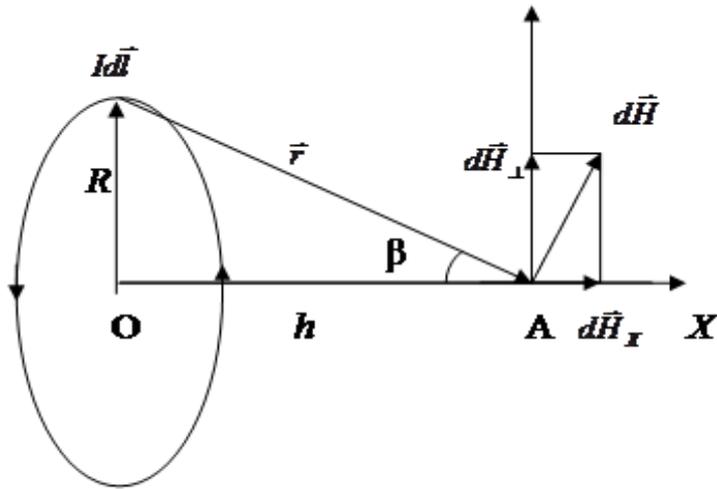


Рисунок 1

где $\beta=90^\circ$ – угол между векторами $I\vec{dl}$ и \vec{r} . Разложим $d\vec{H}$ на две составляющих: $d\vec{H}_x$ – вдоль оси контура (OX) и $d\vec{H}_\perp$ – перпендикулярную оси OX, тогда

$$dH_\perp = dH \cos \beta \quad \text{и} \quad dH_x = dH \sin \beta \quad (5)$$

При сложении составляющих магнитного поля $d\vec{H}_\perp$, перпендикулярных оси OA, они компенсируют друг друга вследствие симметрии контура. Поэтому результирующая напряженность магнитного поля в точке A направлена вдоль оси кругового тока и равна по модулю:

$$H = \oint_L dH_x = \oint_L dH \sin \beta = \oint_L \frac{Idl \sin \beta}{4\pi r^2} = \frac{I \sin \beta}{4\pi r^2} \oint_L dl = \frac{I \sin \beta}{4\pi r^2} 2\pi R \quad (6)$$

Здесь учтено, что величины I , r , β постоянны, а интеграл по контуру $\oint_L dl$ равен длине окружности контура. Из рис.1 найдем $\sin \beta = \frac{R}{r}$, тогда:

$$H = \frac{IR^2}{2r^3} \quad (7)$$

или:

$$H = \frac{IR^2}{2(h^2 + R^2)^{3/2}} \quad (8)$$

Перейдем теперь к вычислению поля соленоида, изображенного на рисунке 2. Пусть на единицу длины соленоида приходится n витков, тогда на участке dz будет ndz витков, которые в точке O соленоида согласно (7) создадут напряженность:

$$dH_z = \frac{IR^2}{2r^3} ndz \quad (9)$$

На рисунке 3 отдельно изображены элемент dz , радиус-вектор \vec{r} и углы θ и $d\theta$. Из геометрических построений на рисунках 2 и 3 следует:

$$r = \frac{R}{\sin \theta} \quad \text{и} \quad dz = \frac{rd\theta}{\sin \theta} \quad (10)$$

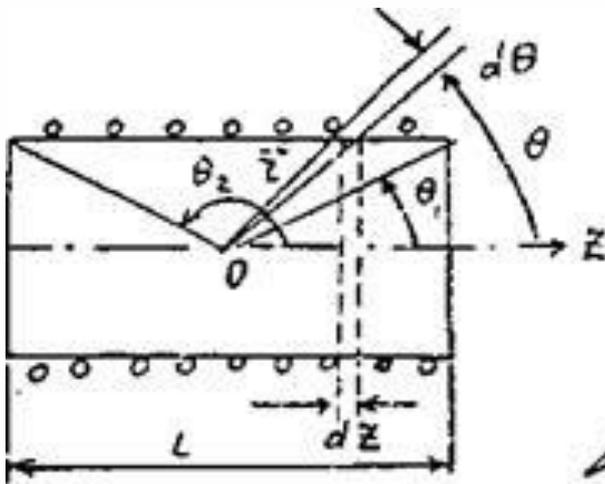


Рисунок 2

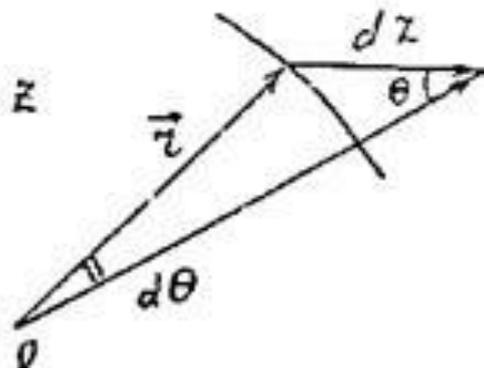


Рисунок 3

Подставляем (10) в (9) и интегрируем в пределах от θ_1 до θ_2 :

$$H_z = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{1}{2} In \frac{R^2}{\left(\frac{R}{\sin \theta}\right)^3} \frac{R d\theta}{\sin^2 \theta} = \frac{1}{2} In \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta = \frac{In}{2} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (11)$$

В случае бесконечного соленоида $\theta_1=0$, $\theta_2=\pi$, и тогда

$$H_z = In \quad (12)$$

2 Методика измерений

Для экспериментального исследования напряженности магнитного поля на оси соленоида в настоящей работе используется метод, основанный на явлении Холла. Если через проводящую пластинку поперечным сечением

$d \times h$ пропустить ток силой I и плотностью \vec{j} и поместить ее в поперечное магнитное поле с индукцией \vec{B} , то перпендикулярно векторам \vec{j} и \vec{B} создается электрическое поле напряженностью \vec{E}_H (рис.4).

Возникающая при этом разность потенциалов $\Delta\varphi_x$ (ЭДС Холла) пропорциональна величине тока и индукции магнитного поля:

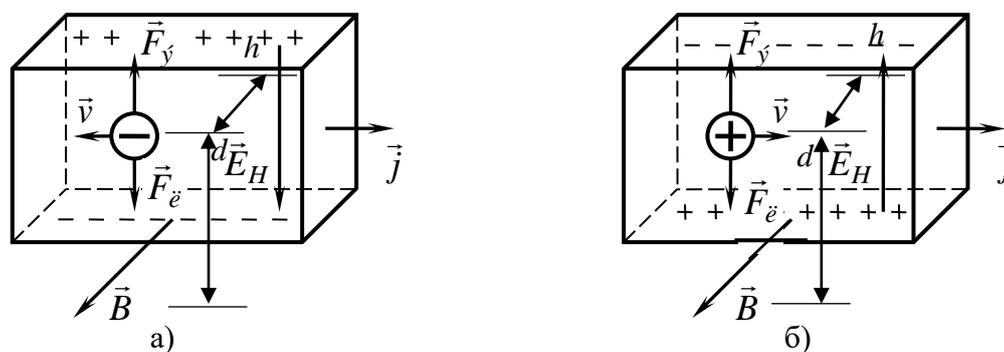
$$\Delta\varphi_x = R_x j B h = R_x \frac{IB}{d} \quad (13)$$

где $I = j d h$ – сила тока, протекающего по пластинке.

Коэффициент пропорциональности R_x называется постоянной Холла. В работе используется полупроводниковый датчик Холла марки Х50I с управляющим током $I=90\text{мА}$, поскольку постоянная Холла для полупроводников значительно больше, чем для проводников.

Силловые линии магнитного поля на оси соленоида направлены вдоль оси, поэтому датчик Холла располагается на торце специального штока, вставляемого в соленоид. Толщина датчика d в направлении магнитного поля равна 0,2 мм. Для измерения положения датчика внутри соленоида на боковой грани штока нанесена миллиметровая шкала.

При отсутствии магнитного поля ЭДС Холла должна быть равна нулю. Однако вследствие различных побочных явлений, например, недостаточно точной установки выходных электродов датчика, измерительный прибор может показать некоторую разность потенциалов даже при отсутствии тока в соленоиде. Для

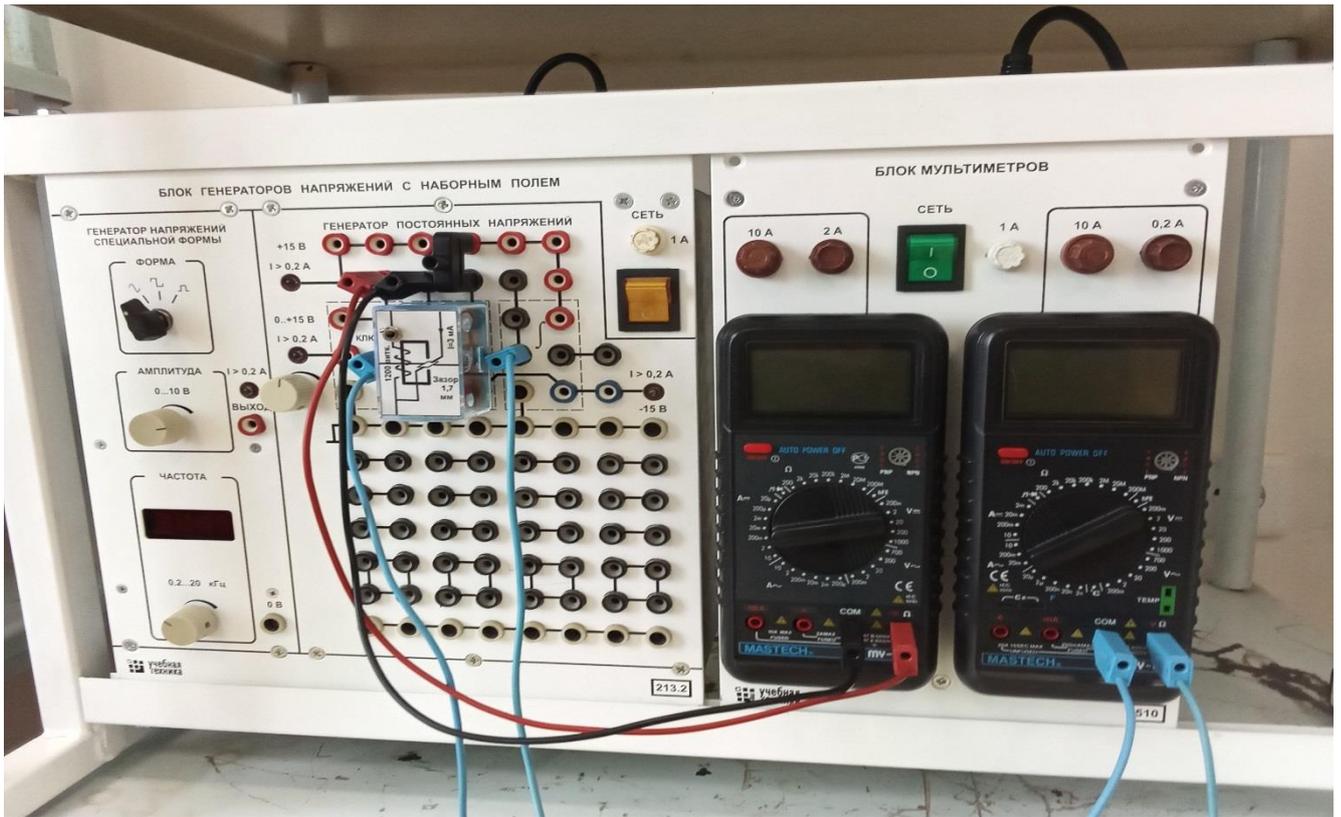
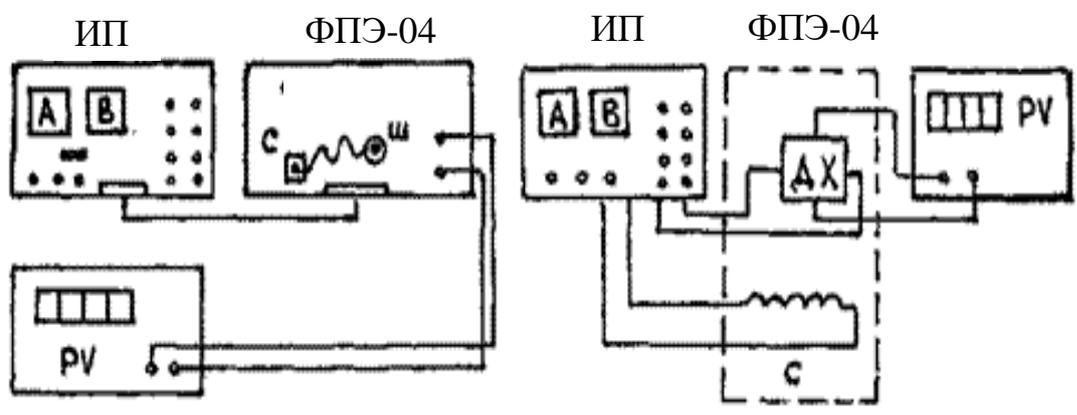


исключения погрешностей измерения проводят дважды при двух противоположных направлениях тока в соленоиде.

Тогда $\Delta\varphi_x = \frac{1}{2}(\Delta\varphi_{x1} - \Delta\varphi_{x2})$. Однако в данной работе изменение направления тока в соленоиде не предусмотрено. Поэтому погрешность в определении $\delta\varphi_x$ указана в паспорте ФПЭ-04.

Рисунок 4

3 Практическая часть



Задание 1

Определение зависимости магнитной индукции в средней точке на оси соленоида и тарировка датчика Холла.

1. Собрать и проверить схему, изображенную на рисунках 5, 6 и 7.
2. Поставить шток с датчиком Холла в среднее положение на оси соленоида ("0" по шкале).
3. Включить источник питания и цифровой вольтметр в сеть 220 В. Измерить ЭДС Холла в центре соленоида для токов 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 (А), при этом из измеренного значения необходимо вычесть поправку $\delta\varphi_x$, указанную в паспорте. Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ измерения	Ток соленоида I_c , А	ЭДС датчика Холла $\Delta\varphi_x$, В	Индукция В, Тл	Постоянная Холла R_x ,

4. Вычислить индукцию магнитного поля для заданных значений силы тока I_c

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

по формулам (1)

$$\text{и (12) } H = I_c n ;$$

где $l=0,2$ м – длина катушки, $n = N/l$, $N=150$ – число витков. Данные занести в таблицу 1.

5. Вычислить значения постоянной Холла R_x для каждого измерения по

формуле полученной из (13): $R_x = \frac{\Delta\varphi_x d}{IB}$,

где $I=90$ мА, $d=0,2$ мм; данные занести в таблицу. Найти среднее значение R_x , вычислить его погрешность.

6. Построить графики зависимости $B = f(I_c)$ и $\Delta\varphi = f(I_c)$ по данным таблицы 1.

Задание 2

Исследование зависимости индукции магнитного поля от координаты z , отсчитываемой от средней точки.

1. Установить величину тока в катушке соленоида по указанию преподавателя.

2. Перемещая шток с датчиком Холла вдоль оси соленоида с интервалом $\Delta z = 1 \text{ см} = 10 \text{ мм}$, измерять ЭДС Холла. Полученные данные занести в таблицу 2.

3. Вычислить индукцию поля B для каждого положения датчика Холла по

формуле полученной из (13):
$$B = \frac{\Delta\varphi_x d}{R_x I}$$

Таблица 2

Положение датчика z , мм	ЭДС датчика Холла $\Delta\varphi_x$, В	Индукция B , Тл
110		
100		
...		

При расчете использовать значение R_x , полученное в задании 1. Данные занести в таблицу 2.

4. Построить график зависимости $B = f(z)$ по данным таблицы 2.

5. Повторить измерения и расчеты по пунктам 2-4 для нового значения I_c (по заданию преподавателя).

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

7. Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Как связаны между собой напряженность и индукция магнитного поля? Что они характеризуют?
2. Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа.
3. Сформулируйте принцип суперпозиции.
4. Пользуясь законом Био-Савара-Лапласа, дайте вывод формулы для индукции магнитного поля на оси кругового витка с током.
5. Пользуясь законом Био-Савара-Лапласа, получите формулу для индукции магнитного поля на оси соленоида конечной длины. Выведите из нее формулу для магнитного поля бесконечного соленоида.
6. Сформулируйте теорему о циркуляции вектора магнитной индукции.
7. Пользуясь теоремой о циркуляции, дайте вывод формулы для индукции магнитного поля бесконечного соленоида.
8. В чем заключается эффект Холла? Чем он объясняется?
9. Дайте вывод формулы для ЭДС Холла.

Список использованных источников

1. Детлаф, А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.- М.: Высшая школа, 2000.
2. Калашников, С.Г. Электричество: учебное пособие / С.Г. Калашников. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – ISBN 5-9211-0312-1.
3. Савельев, И.В. Курс общей физики: В 5 кн.: Кн. 1, кн. 2, кн. 3, кн. 4, кн.5: Учеб. пособие для втузов / И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2003.
4. Трофимова, Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова - М.: Высшая школа, 2004.