**Ст. преподаватель Корнеев В.Т.**

Работа **3-16**

**ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОИДА**

**С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКА ХОЛЛА**

Студент\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_, группа\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Допуск\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Выполнеие\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Защита\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Цель работы – ознакомиться с методом Холла измерения индукции магнитного поля.

**Общие сведения**

***Магнитное поле соленоида***

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 можно описать с помощью вектора напряженности магнитного поля или вектора индукции магнитного поля **.** В вакууме векторы **** и связаны соотношением

****=μ0**,** (1)

где μ0 = 4π. 10-7 Гн/м - магнитная постоянная.

Для вычисления напряженности и индукции магнитного поля используют закон Био-Савара-Лапласа, согласно которому элементарная индукция магнитного поля d****, создаваемая элементом проводника с током *Id*******  в некоторой точке пространства, определяемой радиус-вектором , описывается выражением

*d*****=μ0**.** (2)

** -** вектор, направленный от элемента тока в точку, в которой определяется , *r-*модуль этого вектора.

Модуль элементарной индукции определяется формулой

. (3)

Для нахождения результирующей индукции, создаваемой проводником конечных размеров, надо воспользоваться принципом суперпозиции магнитных полей и найти векторную сумму элементарных индукций *d*****:

**==** (4)

В пределе сумма записывается в виде интеграла по контуру проводника с током. Применим формулу (4) для вычисления индукции магнитного поля на оси соленоида. Каждый виток соленоида – это круговой ток, поэтому сначала выведем формулу для индукции поля на оси кругового витка (контура *L*) с током (рис.1).

Контур L

R

O

**α**

A

h

r











Рис. 1.

При сложении составляющих магнитного поля *d*******, перпендикулярных оси ОА, они компенсируют друг друга вследствие симметрии контура. Поэтому результирующая индукция магнитного поля в точке А направлена вдоль оси кругового контура и равна по модулю

*B*=; (5)

*dB1*=*dB sinα =μ0 .* (6)

В (6) учтено, что векторы ** и  взаимно перпендикулярны. Подставляя (6) в (5) и учитывая, что величины *R* и *r*  постоянны, получим

*B=μ0.* (7)

Перейдем теперь к вычислению поля соленоида (рис. 2). Соленоидом называется цилиндрическая катушка с током, состоящая из большого числа витков проволоки, которые образуют винтовую линию. Если витки расположены вплотную или очень близко друг к другу, то соленоид можно рассматривать как систему последовательно соединенных круговых токов одинакового радиуса с общей осью. Пусть на единицу длины соленоида приходится n витков. Тогда на участке *dz* будет n*dz* витков, которые в точке О соленоида создадут индукцию

*dBz=μ0ndz* . (8)

****

*L*

*O*

*dz*

*dBz*

*R*

θ

*dθ*

θ2

θ1

*r*

*z*

Z

0

L/2

****

Рис.2.

*r=*, *dz=.*  (9)

Подставляем (9) в (8) и интегрируем в пределах от θ1 доθ2:

*Bz=μ0=0,5μ0In(cosθ1-cosθ2)*;  (10)

(В случае бесконечного соленоида θ1=0, θ2=π, *Bz =μ0In).* (11)

Для расчета поля в любой точке на оси соленоида можно вывести формулу, содержащую геометрические размеры соленоида:

*d*

 (12)

***Эффект Холла***

Для экспериментального исследования индукции магнитного поля на оси соленоида в работе используется метод, основанный на эффекте Холла (гальваномагнитном явлении).

Эффектом Холла называется возникновение поперечного электрического поля и разности потенциалов в проводнике или полупроводнике, по которым проходит электрический ток, при помещении их в магнитное поле, перпендикулярное к направлению тока.

Если в магнитное поле с индукцией B поместить проводник или электронный полупроводник, по которому течет электрический ток плотности ****, то на электроны, движущиеся со скоростью**** в магнитном поле, действует сила Лоренца , отклоняющая их в определенную сторону (рис. 3).







\_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_



+ + + + + + + + + + + + + + + + \_\_

\_

h*д*

а

Рис. 3 Действие силы Лоренца на движущийся отрицательный заряд

На противоположной  стороне скапливаются положительные заряды.

В дырочном полупроводнике знаки зарядов на поверхностях меняются на противоположные (см.

рис. 4).









+ + + + + + + + + + + + + + + + +



\_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_ \_\_

Рис.4 Действие силы Лоренца на движущийся положительный заряд

Под дейст­вием электрического поля носители заряда приобретают направленное движе­ние (дрейф), средняя скорость которого *u.* Плотность тока в проводнике *j = neu*, где *n* — концентрация носителей, *е* — их заряд. При наложе­нии магнитного поля на носители действу­ет сила Лоренца: **, под действием которой частицы отклоняются в направлении, перпендикулярном **и .

В результате на гранях проводника, перпендикулярных направлению силы , происходит накопление заряда и возникает электростатическое поле Холла. В свою очередь поле Холла действует на заряды и урав­новешивает силу Лоренца. В условиях равновесия *eEx =euB.*

*Ex =uB = jB/ne*

Образующаяся при этом разность потенциалов:

*,* (13)

где  ― ***постоянная Холла.******hд***- линейный размер образца в  направлении вектора ** (**на установке этот размер называется ***высота* *датчика Холла*)**, ***а*** *–* ширина образца, ***iд*** ― ток датчика Холла.

Знак ***RX*** совпадает со знаком носителей тока. Для металлов, у которых концентрация носи­телей (электронов проводимости) ***n***≈ 1022см-3 ***Rx*** ≈ -10-3см3/Кл; у полупроводников кон­центрация носителей значительно меньше и  105 см3/Кл.

Из (13) следует, что между индукцией магнитного поля и разностью потенциалов Холла существует линейная зависимость

 , (14)

где ***k*** ― калибровочный коэффициент датчика Холла. Зная этот коэффициент, можно по разности потенциалов Холла определить индукцию магнитного поля.

**Порядок выполнения работы:**

В работе используется датчик Холла марки Х501 с током датчика ***iд****=90 мА*. Силовые линии магнитного поля соленоида направлены вдоль его оси. Датчик располагается на торце специального штока, вставляемого в соленоид. Высота датчика ***hд***в направлении магнитного поля равна 0,2 мм. Для измерения положения датчика внутри соленоида на боковой грани штока нанесена миллиметровая шкала.

***В работе необходимо:***

* экспериментально определить калибровочный коэффициент датчика;
* теоретически рассчитать индукцию магнитного поля в разных точках на оси соленоида;
* измерить индукцию магнитного поля в разных точках на оси соленоида с помощью датчика Холла;
* сравнить расчетные и экспериментальные результаты определения индукции магнитного поля.

***Задание 1.*** *Определение магнитной индукции в средней точке на оси соленоида и калибровка датчика Холла методом совместных измерений (****см. метод. указания к работе 0-1****).*

*Цифровой вольтметр*

*Шток с датчиком*

*Включить*

*Регулировать ток*

Рис. 5 Схема экспериментальной установки.

1. Включить источник питания и цифровой вольтметр.
2. Установить шток с датчиком Холла в среднее положение на оси соленоида («0» по шкале штока).
3. Измерить ЭДС Холла центре соленоида для токов соленоида 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 А Данные занести в табл. 1.

*Таблица 1*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *№*  *опыта,* ***i*** | *Ток соленоида*  ***Ii****, А* | ***Вi****, Тл (по формуле (12) при z=0)* | *Разность потенциалов Холла* ***Δ ϕi****, Вольт* |
| *1* | 0,4 | 0,0077 | 0,070 |
| *2* | 0,6 | 0,0116 | 0,112 |
| *3* | 0,8 | 0,0154 | 0,148 |
| *4* | 1 | 0,0193 | 0,189 |
| *5* | 1,2 | 0,0232 | 0,210 |
| *6* | 1,4 | 0,0270 | 0,238 |

1. Вычислить индукцию магнитного поля для заданных значений силы тока по формуле (12) в центре соленоида (z=0). Результаты вычислений занести в таблицу.



L = 0,167 м;

R = 0,275 м;

n = 2700 витков;

1. Вычислить по формуле совместных измерений (см. **0-1**!) калибровочный коэффициент

 (15)

1. На одном графике изобразить зависимости ***В****i=f()* и **.

***Задание 2.*** *Исследование зависимости индукции магнитного поля от координаты* ***z****, отсчитываемой от центра соленоида.*

1. Установить величину тока в катушке соленоида по указанию преподавателя.
2. Перемещая шток с датчиком Холла вдоль оси соленоида с интервалом ***Δz*** *=1 см*, измерить для каждого положения разность потенциалов Холла. Данные занести в табл. 2.

*Таблица 2*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Положение датчика* ***z*** *, мм*  *(по надписи на штоке)* | *Разность потенциалов Холла , Вольт* | *Индукция* ***B****, Тл*  *(эксперимент.)* | *Индукция* ***B****, Тл*  *(теоретич.)* |
| *100* | *0,074* | *0,0044* | *0,0069* |
| *90* | *0,086* | *0,0051* | *0,0075* |
| *80* | *0,113* | *0,0067* | *0,0080* |
| *70* | *0,138* | *0,0082* | *0,0086* |
| *60* | *0,154* | *0,0091* | *0,0090* |
| *50* | *0,164* | *0,0097* | *0,0095* |
| *40* | *0,165* | *0,0098* | *0,0099* |
| *30* | *0,172* | *0,0102* | *0,0102* |
| *20* | *0,174* | *0,0103* | *0,0104* |
| *10* | *0,176* | *0,0104* | *0,0105* |
| *0* | *0,179* | *0,0106* | *0,0105* |
| *-10* | *0,177* | *0,0105* | *0,0105* |
| *-20* | *0,176* | *0,0104* | *0,0104* |
| *-30* | *0,173* | *0,0103* | *0,0102* |
| *-40* | *0,170* | *0,0101* | *0,0099* |
| *-50* | *0,164* | *0,0097* | *0,0095* |
| *-60* | *0,153* | *0,0091* | *0,0090* |
| *-70* | *0.134* | *0,0079* | *0,0086* |
| *-80* | *0,111* | *0,0066* | *0,0080* |
| *-90* | *0,086* | *0,0050* | *0,0075* |
| *-100* | *0,056* | *0,0033* | *0,0069* |

1. Вычислить индукцию поля ***В*** для каждого положения датчика Холла, воспользовавшись формулой , При расчете использовать калибровочный коэффициент (15)*,* полученный при выполнении задания 1. Данные занести в таблицу 2 (столбец «эксперимент.»).
2. Вычислить индукцию поля ***В*** для каждой точки на оси соленоида в соответствии с положением датчика Холла, воспользовавшись формулой (12). Данные занести в таблицу 2 (столбец «теоретич.»).
3. Построить на одном графике зависимости***В=f(z),*** полученные экспериментально и теоретически по данным таблицы 2.
4. Для одного из полученных экспериментально значений ***В*** рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерения (см. указания к работе 0-1).

**Контрольные вопросы**

1. Объясните физический смысл вектора магнитной индукции. . В каких единицах в СИ измеряется магнитная индукция?
2. Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа.
3. Выведите формулу (7) для индукции магнитного поля на оси кругового витка с током.
4. Выведите формулу (12).
5. Сформулируйте теорему о циркуляции вектора по замкнутому контуру. Пользуясь этой теоремой, выведите формулу для индукции магнитного поля тороида.
6. Выведите формулу для индукции магнитного поля бесконечного соленоида из формулы, полученной для тороида.
7. Что такое сила Лоренца? Чем определяется ее направление и значение?
8. В чем заключается эффект Холла?
9. Полный заряд проводника, даже если по нему течет ток, равен нулю. Почему тогда на проводник с током действует сила со стороны магнитного поля?
10. Дайте вывод формулы для разности потенциалов Холла.