

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.3

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ КАТУШКИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Определить индукцию магнитного поля внутри цилиндрической катушки как функцию силы тока.
2. Измерить индукцию магнитного поля внутри цилиндрической катушки с переменным числом обмоток на единицу длины как функцию силы тока.
3. Убедиться в том, что для длинных катушек индукция магнитного поля пропорциональна плотности намотки витков.

2. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И.В. Курс физики: Учеб. пособие для студентов вузов.- [В 3-х т.].- Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика.- М.: Наука, 1989.- 496 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. - 19-е изд. - Академия, 2012. – 560 с.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики.- Академия, 2009. – 720 с.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Закон Био-Савара-Лапласа описывает связь между индукцией магнитного поля \vec{B} и силой тока I , создающего это поле, через проводник произвольной формы. Расчет \vec{B} включает суммирование между собой вкладов $d\vec{B}$ бесконечно малых участков dl проводника для определения полной индукции \vec{B} . Таким образом, в общем случае \vec{B} вычисляется путем интегрирования $d\vec{B}$ по всем элементарным участкам проводника. Однако в некоторых случаях, например, для длинной цилиндрической катушки, существует простое аналитическое решение этой задачи.

Согласно закону Био-Савара-Лапласа, бесконечно малый участок проводника dl , через который течет ток силой I , создает в точке с радиус-вектором \vec{r} магнитное поле с индукцией

$$d\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0 I [d\vec{l} \times \vec{r}]}{4\pi r^3}. \quad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная, а вектор $d\vec{l}$ направлен по току.

Внутри цилиндрической катушки вектор индукции магнитного поля направлена параллельно оси цилиндра, а его модуль определяется выражением

$$B = \frac{\mu_0 N I}{L}, \quad (2)$$

где N – число витков, L – длина катушки.

Формула (2) применима в случае, если длина катушки L намного больше ее диаметра D (соленоид). Согласно (2), магнитная индукция \vec{B} не зависит от D и пропорциональна силе тока в катушке и плотности намотки витков, т.е. количеству витков на единицу длины катушки (N/L). Для экспериментального

доказательства этой закономерности в данной лабораторной работе используется катушка с подвижными витками, которая, таким образом позволяет варьировать величину N/L . Магнитная индукция \vec{B} внутри катушки измеряется тесламетром на основе датчика Холла.

4. ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. катушка диаметром 100 мм;
2. катушка диаметром 120 мм;
3. катушка с переменным числом витков на единицу длины;
4. подставки для катушек;
5. тесламетр;
6. регулируемый источник постоянного тока (0...32) В, (0...20) А;
7. набор проводов с контактными наконечниками;
8. универсальный зажим.

5. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В работе используется электрическая цепь, состоящая из катушки, источника питания постоянного тока и тесламетра с датчиком Холла, помещенным внутри катушки (рис. 1).

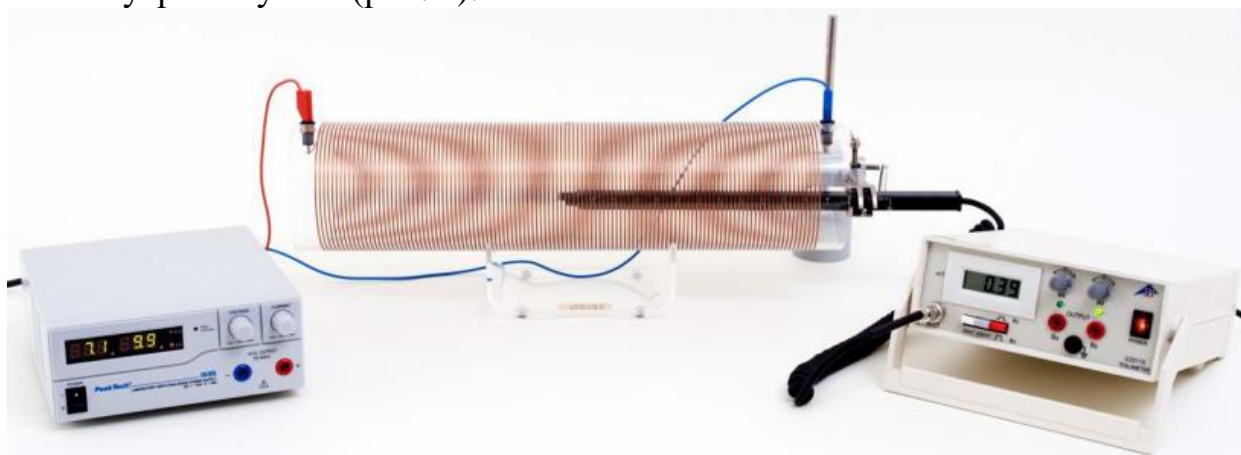


Рис. 1. Общий вид лабораторной установки

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключите катушку диаметром 100 мм к выходу (0...20) А на задней панели источника постоянного тока. **Пока не включайте источник питания!**
2. Установите датчик Холла (рис. 2) точно в центре катушки.

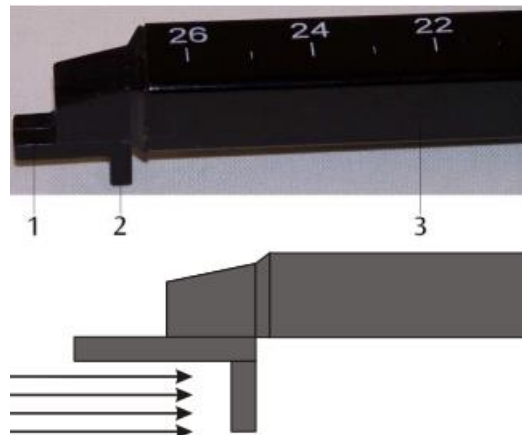


Рис. 2. Вверху: магнитный зонд (1 - тангенциальный датчик Холла (измеряет B_z), 2 - осевой датчик Холла (измеряет B_x), 3 - держатель датчика). Внизу: измерение осевого магнитного поля B_x)

Осевой датчик Холла измеряет компонент магнитной индукции B_x вдоль оси зонда. Если вектор магнитного поля \vec{B} направлен вдоль оси зонда (см. рис. 2 внизу), его отображаемое тесламетром значение будет положительным, тогда как, если противоположно - отрицательным.

3. Подключите датчик Холла к соответствующему разъему 1 блока тесламетра (рис. 3).

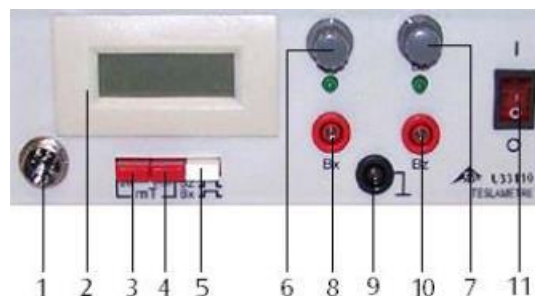


Рис. 3. Передняя панель блока тесламетра (1 - разъем для подключения датчика магнитного поля, 2 - цифровой дисплей, 3 - селектор диапазона измерений 20 мТл, 4 - селектор диапазона измерений 200 мТл, 5 - переключатель режимов измерения (осевой B_x и тангенциальный B_z), 6 - ручка регулировки нуля для B_x со светодиодным индикатором, 7 - ручка регулировки нуля для B_z со светодиодным индикатором, 8 - выходной разъем для осевого режима B_x , 9 - заземление, 10 - выходной разъем для тангенциального режима B_z , 11 - выключатель питания)

4. Включите тесламетр, нажав клавишу 11, при помощи селектора 3 выберите диапазон измерения 20 мТл и поверните переключатель режима измерения 5 в осевое положение (B_x).

5. Установите «ноль», поворачивая ручку 6 до тех пор, пока на дисплее не появится «0» или наименьшее достижимое значение.

6. Включите источник питания постоянного тока. Увеличивайте силу тока I от 0 до 20 А с шагом 1 А. Для каждого шага считывайте значение B , записывая

его в таблицу 1 вместе с величиной I . Вычислите соответствующие теоретические значения индукции $B_{\text{теор}}$ по формуле (2) и также занесите их в таблицу 1.

Таблица 1. Зависимость магнитной индукции от силы тока через катушки

I, A	$D=100 \text{ мм}$		$D=120 \text{ мм}$	
	$B, \text{мТл}$	$B_{\text{теор}}, \text{мТл}$	$B, \text{мТл}$	$B_{\text{теор}}, \text{мТл}$
0				
1				
2				
...				
20				

Замечание по технике безопасности: допускается только кратковременное протекание тока силой (10...20) А!

7. Повторите пп. 5 и 6 для катушки диаметром 120 мм и докажете, что магнитная индукция B пропорциональна силе тока I через катушку независимо от ее диаметра.

8. Замените катушку диаметром 100 мм на катушку с переменным числом витков на единицу длины (рис. 4).

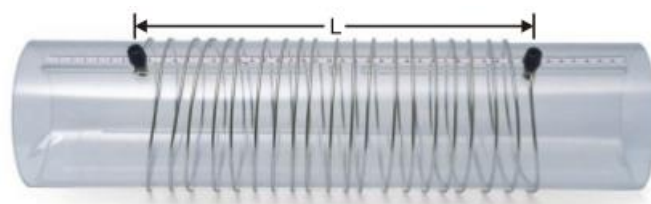


Рис. 4. Катушка с переменным числом витков на единицу длины

9. Установите длину катушки $L = 7, 12, 17, 22, 27$ и 32 см, при этом она должна быть симметричной относительно ее центра. Повторите измерения п. 6 и запишите все значения в таблицу 2.

Таблица 2. Зависимость магнитной индукции (мТл) от силы тока через катушки различной длины L

I, A	$L, \text{см}$					
	7	12	17	22	27	32
0						
1						
2						
...						
20						

7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. По данным таблицы 1 постройте графики зависимости $B(I)$ и $B_{\text{теор}}(I)$. Проанализируйте их и убедитесь в том, что магнитная индукция B пропорциональна силе тока I через катушку, что соответствует уравнению (2).
2. По данным таблицы 2 постройте семейство графиков $B(I)$ для различных длин катушки L . Проанализируйте его и убедитесь в том, что магнитная индукция B пропорциональна силе тока I через катушку при любой ее длине L , что соответствует уравнению (2). Вследствие обратной пропорциональности плотности B и L угол наклона линий уменьшается с увеличением L .
3. Зная количество витков N/L и запишите его в таблицу 3. Возьмите из таблицы 2 значения B , соответствующие $N=30$ в катушке переменной длины, рассчитайте плотность намотки витков силе тока $I=20$ А для каждого из значений L , и запишите их в соответствующие ячейки таблицы 3.

Таблица 3. Зависимость магнитной индукции от плотности намотки витков при силе тока 20 А

L , см	N/L , 1/см	B , мТл
7		
12		
17		
22		
27		
32		

4. По данным таблицы 3 постройте график зависимости $B (N/L)$. Проанализируйте его и убедитесь в том, что B пропорциональна N/L , только если длина катушки более чем в три раза превышает ее радиус (диаметр катушки с переменным числом витков на единицу длины составляет $D=100$ мм).
5. Сделайте выводы по работе.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение индукции магнитного поля.
2. Дайте определение единицы измерения магнитной индукции в системе СИ.
3. Сформулируйте и поясните закон Био-Савара-Лапласа.
4. Получите формулу для магнитной индукции внутри соленоида.
5. Что такое плотность намотки витков катушки и как от нее зависит магнитное поле внутри катушки?
6. При каком условии индукция магнитного поля внутри катушки пропорциональна плотности намотки ее витков?
7. Объясните принцип действия датчика Холла.