

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Санкт-Петербургский горный университет



Кафедра общей и технической физики

**Отчет по лабораторной работе №4**

Исследование магнитных полей различной конфигурации

Выполнил: студент гр. ИГ-22-1

\_\_\_\_\_

(подпись)

/дискуссия./

(Ф.И.О)

Проверил: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(подпись)

/\_\_\_\_\_ /

(Ф.И.О)

Санкт-Петербург  
2023

## 1.Цель работы

Измерение магнитной индукции полей, создаваемых проводниками с током различной конфигурации. Экспериментальная проверка закона Био–Савара–Лапласа.

## 2.Краткое теоретическое содержание

Магнитная индукция – силовая характеристика магнитного поля, проявляющаяся в том, что на движущиеся в магнитном поле заряды действуют силы.

Магнитное поле – поле, действующее на движущиеся электрические заряды и на тела, обладающие магнитным моментом, независимо от состояния их движения; магнитная составляющая электромагнитного поля.

Соленоид – катушка электрического тока, у которой длина обмотки многократно превышает её диаметр.

Принцип суперпозиции заключается в том, что магнитное поле, создаваемое несколькими движущимися зарядами или токами, равно векторной сумме магнитных полей, создаваемых каждым зарядом или током в отдельности.

Законы и соотношения, описывающие изучаемые процессы, на основании которых, получены расчётные формулы.

Закон Био-Савара-Лапласа в скалярной форме:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I dl}{r^2} \sin \alpha$$

где:  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  [ Тл·м А ];

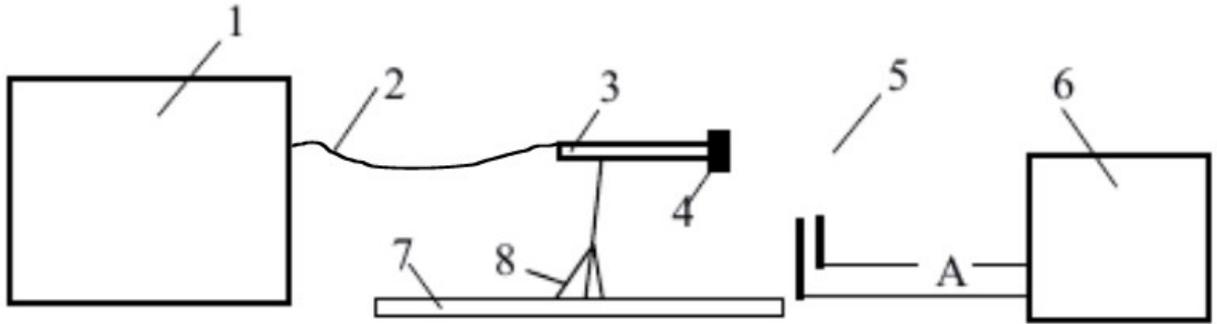
$I$  – сила тока, [I] = А;

$dl$  – вектор, совпадающий с элементарным участком тока и направленный по току;

$r$  – радиус-вектор;

$\alpha$  – угол между  $dl$  и  $r$ ;

## Схема установки



1 – измеритель индукции магнитного поля (тесламетр), А – амперметр, 2 – соединительный провод, 3 – измерительный щуп, 4 – датчик Холла, 5 – исследуемый объект (короткая катушка, прямой проводник, соленоид), 6 – источник тока, 7 – линейка для фиксирования положения датчика, 8 – держатель щупа.

### Основные расчетные формулы

1. Формула расчёта магнитной индукции, создаваемой витком с током,  $[B_e] = \text{Тл}$

$$B_e = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2 \cdot N_e}{\sqrt{(R^2 + z^2)^3}},$$

где:  $R$  – радиус поперечного сечения витка с током,  $[R] = \text{м}$ ;

$N_e$  — количество витков;  $z$  – расстояние от центра витка по оси,  $[z] = \text{м}$ .

2. Формула для магнитной индукции, создаваемой короткой катушкой,

$$[B_k] = \text{Тл}: B_k = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N_k}{2l} \left( \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} + \frac{b}{\sqrt{R^2 + b^2}} \right),$$

где:  $l$  — длина короткой катушки,  $[l] = \text{м}$ ;  $R$  – радиус поперечного сечения короткой катушки,  $[R] = \text{м}$ ;  $N_k$  — количество витков короткой катушки;  $a = z + \frac{l}{2}$ ,  $b = z - \frac{l}{2}$ .

3. Формула для расчёта магнитной индукции, создаваемой в центре соленоида,

$$[B_c] = \text{Тл}: B_c = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N_c}{l},$$

где:  $N_c$  — количество витков соленоида;  $l$  — длина соленоида,  $[l] = \text{м}$ .

4. Формула расчёта индуктивности соленоида,  $[L] = \text{Гн}$ :  $L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N_c B_c S}{I}$ ,

где:  $\Psi$  — потокосцепление,  $[\Psi] = \text{Вб}$ ;  $S = \pi R^2$  — площадь поперечного сечения соленоида,  $[S] = \text{м}^2$ .

## Формула для расчета погрешностей косвенных измерений

1. Абсолютная погрешность измерений индуктивности соленоида:

$$\Delta L = L_{cp} \sqrt{\left(\frac{\Delta B}{B_{cp}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I_{cp}}\right)^2},$$

где:  $L_c$  – среднее значение индуктивности соленоида,  $[L_c] = Гн$ ;

$\Delta B$  – погрешность прямых измерений магнитной индукции соленоида,  $[\Delta B] = Тл$ ;  $\Delta I$  –

погрешность прямых измерений силы тока,  $[\Delta I] = А$ ;

$B_{cp}$  – среднее значение магнитной индукции соленоида,  $[B_{cp}] = Тл$ ;

$I_{cp}$  – среднее значение силы тока,  $[I_{cp}] = А$ .

### Погрешность прямых измерений

$$\Delta B = 0,01 \text{ мТл};$$

$$\Delta I = 0,025 \text{ А};$$

$$\Delta L = 1 \text{ мм};$$

### Таблица измерений

Таблица 1

Исследование магнитного поля витка с током ( $N_6 = 4$ ,  $R_6 = 0,03 \text{ м}$ ,  $I = 4 \text{ А}$ )

$z$	см	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$B_{\text{эксп}}$	мТл	0,01	0,02	0,02	0,05	0,07	0,011	0,18	0,24	0,28	0,26	0,19	0,13	0,07
$B_{\text{теор}}$	мТл	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,12	0,19	0,29	0,33	0,29	0,19	0,12	0,07

Таблица 1 (продолжение)

5	6	7	8
0,0	0,0	0,0	0,0
5	3	2	0
0,0	0,0	0,0	0,0
5	3	2	1

Таблица 2

Исследование магнитного поля витка с током ( $z=0$ )

$I$	А		0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
$B_{\text{эксп}}$	мТл	0,00	0,02	0,08	0,11	0,14	0,16	0,21	0,25	0,29
$B_{\text{теор}}$	мТл	0,00	0,04	0,08	0,13	0,17	0,21	0,25	0,29	0,33

Таблица 3

Исследование магнитного поля короткой катушки с током ( $N_k = 300$ ,  $R_k = 0,03 \text{ м}$ ,  $I = 4 \text{ А}$ ,  $l_k = 0,03 \text{ м}$ )

$z$	см	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2
$B_{\text{эксп}}$	мТл	0,21	0,40	0,70	1,12	1,96	3,57	6,73	11,69	16,08	18,25	18,71	17,99	15,67
$B_{\text{теор}}$	мТл	0,62	0,83	1,15	1,64	2,42	3,74	5,97	9,67	14,94	20,21	22,47	20,21	14,94

Таблица 3 (продолжение)



Расчёта магнитной индукции, создаваемой витком с током:

$$B_{\epsilon} = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2 \cdot N_{\epsilon}}{\sqrt{R^2 + z^2}} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 4}{2} \cdot \frac{0,03^2 \cdot 4}{\sqrt{(0,03^2 + (-8 \cdot 10^{-2})^2)^3}} = 0,01 \text{ мТл}$$

Пример вычислений для таблицы 2

$$B_{\epsilon} = \frac{\mu_0 I}{2} \frac{R^2 \cdot N_{\epsilon}}{\sqrt{R^2 + z^2}} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}{2} \cdot \frac{0,03^2 \cdot 4}{\sqrt{(0,03^2 + (0)^2)^3}} = 0,04 \text{ мТл}$$

### Пример вычислений для таблицы 3

Расчёт магнитной индукции, создаваемой короткой катушкой с током:

$$B_k = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N_k}{2l} \left( \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} + \frac{b}{\sqrt{R^2 + b^2}} \right) = i \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 300}{2 \cdot 0,03} \left( \frac{-10 \cdot 10^{-2} + \frac{0,03}{2}}{\sqrt{0,03^2 + \left(-10 \cdot 10^{-2} + \frac{0,03}{2}\right)^2}} + \frac{-10 \cdot 10^{-2}}{\sqrt{0,03^2 + \left(-10 \cdot 10^{-2}\right)^2}} \right)$$

### Пример вычислений для таблицы 4

$$B_k = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N_k}{2l} \left( \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} + \frac{b}{\sqrt{R^2 + b^2}} \right) = i \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5 \cdot 300}{2 \cdot 0,03} \left( \frac{0 + \frac{0,03}{2}}{\sqrt{0,03^2 + \left(0 + \frac{0,03}{2}\right)^2}} + \frac{0 - \frac{0,03}{2}}{\sqrt{0,03^2 + \left(0 - \frac{0,03}{2}\right)^2}} \right)$$

### Пример вычислений для таблицы 5

Расчёт магнитной индукции, создаваемой в центре соленоида:

$$B_c = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N_c}{l} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 150}{0,16} = 4,71 \text{ мТл}$$

### Пример вычислений для таблицы 6

$$B_c = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N_c}{l} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5 \cdot 150}{0,16} = 0,59 \text{ мТл}$$

Расчёт индуктивности соленоида:

$$L = \frac{N_c B_c S}{I} = \frac{150 \cdot 0,52 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00053}{0,5} = 82,68 \text{ мкГн}$$

### Расчет погрешности косвенных измерений

$$\Delta L = L_{cp} \sqrt{\left(\frac{\Delta B}{B_{cp}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I_{cp}}\right)^2} = 86,31 \cdot 10^{-6} \sqrt{\left(\frac{0,01 \cdot 10^{-3}}{2,19 \cdot 10^{-3}}\right)^2 + \left(\frac{0,025}{2}\right)^2} = 1,15 \text{ мкГн}$$

Относительная погрешность косвенных измерений экспериментальной индуктивности соленоида:

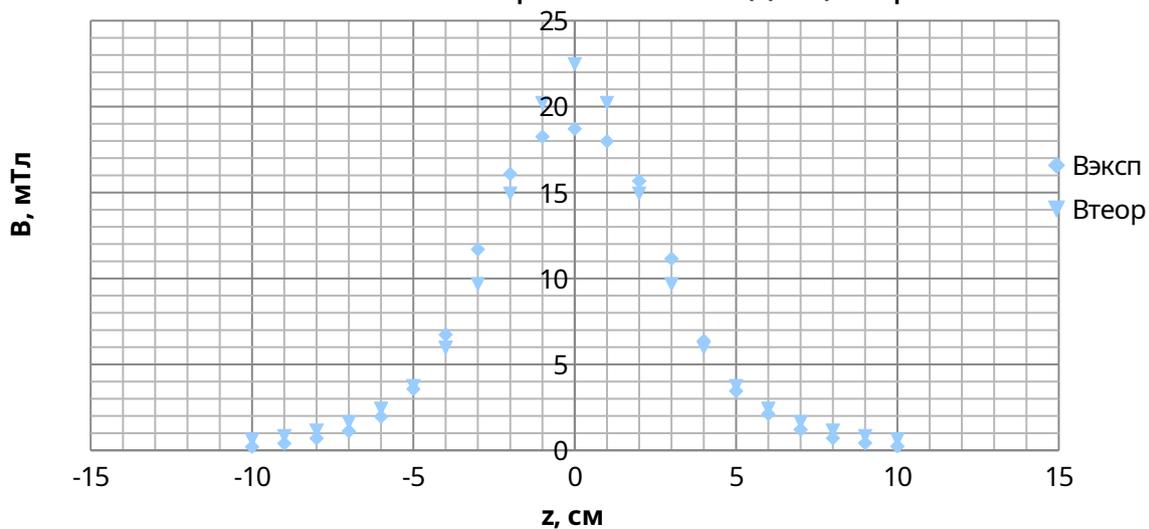
$$\varepsilon = \frac{\Delta L_{эксп}}{L_{эксп}} \cdot 100\% = \frac{1,15 \cdot 10^{-6}}{86,31 \cdot 10^{-6}} \cdot 100\% = 1,3\%$$

Анализ результатов (сравнительная оценка результатов)

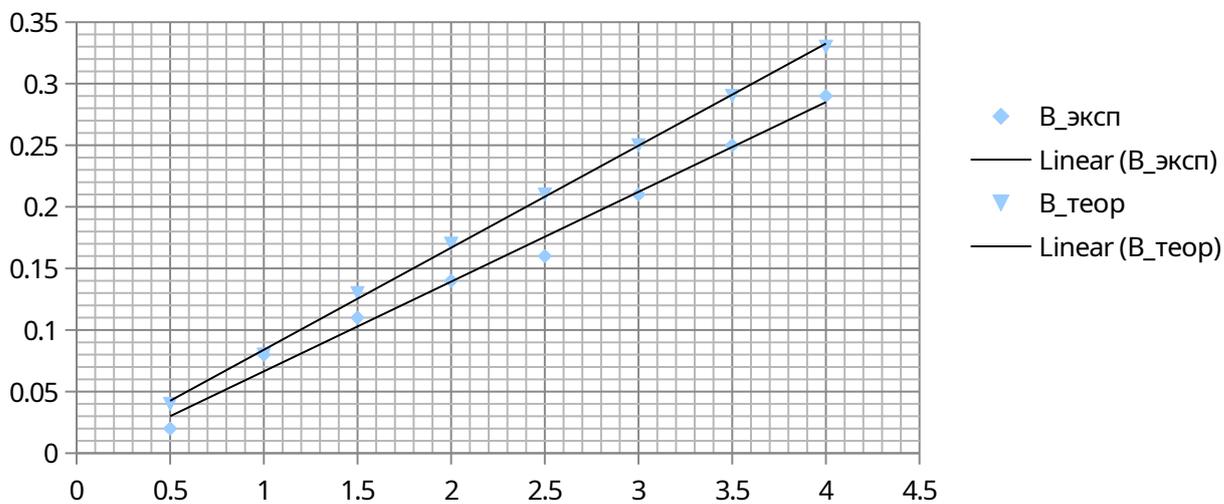
$$\Delta_{\square} = i L_m - L_{эксп} \vee \frac{i}{L_m} \cdot 100\% = \frac{|90,00 - 86,31|}{90,00} \cdot 100\% = 4,1\% i$$

Графики зависимостей

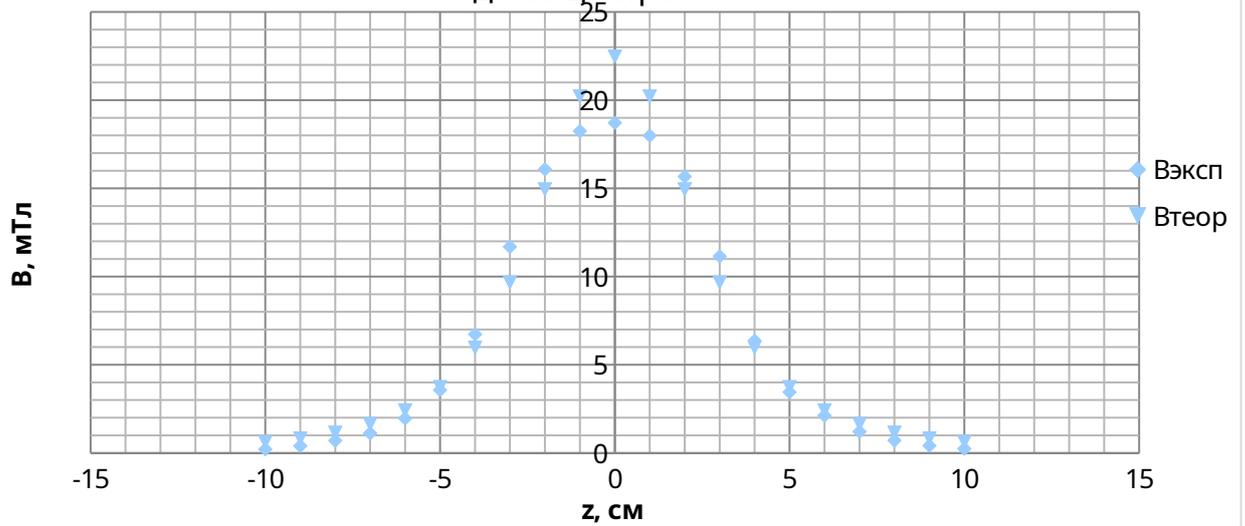
зависимости магнитной индукции на  
оси витка от расстояния до центра витка



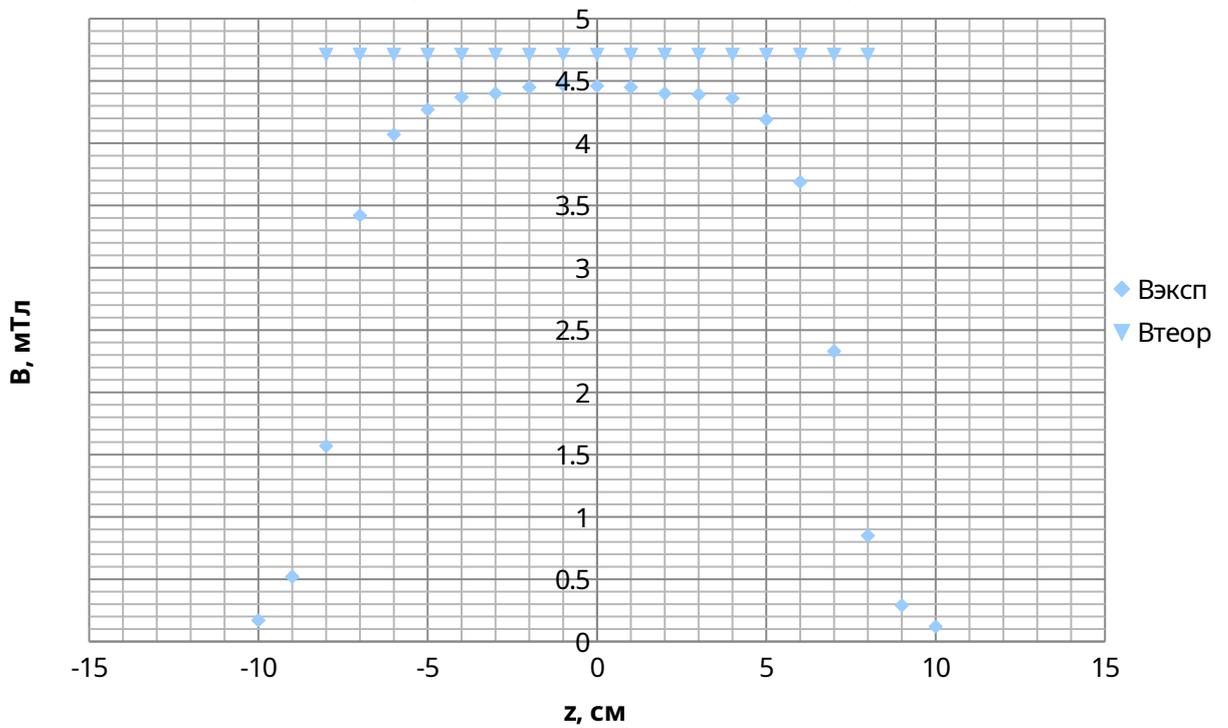
зависимости магнитной  
индукции в центре витка от силы тока в нем

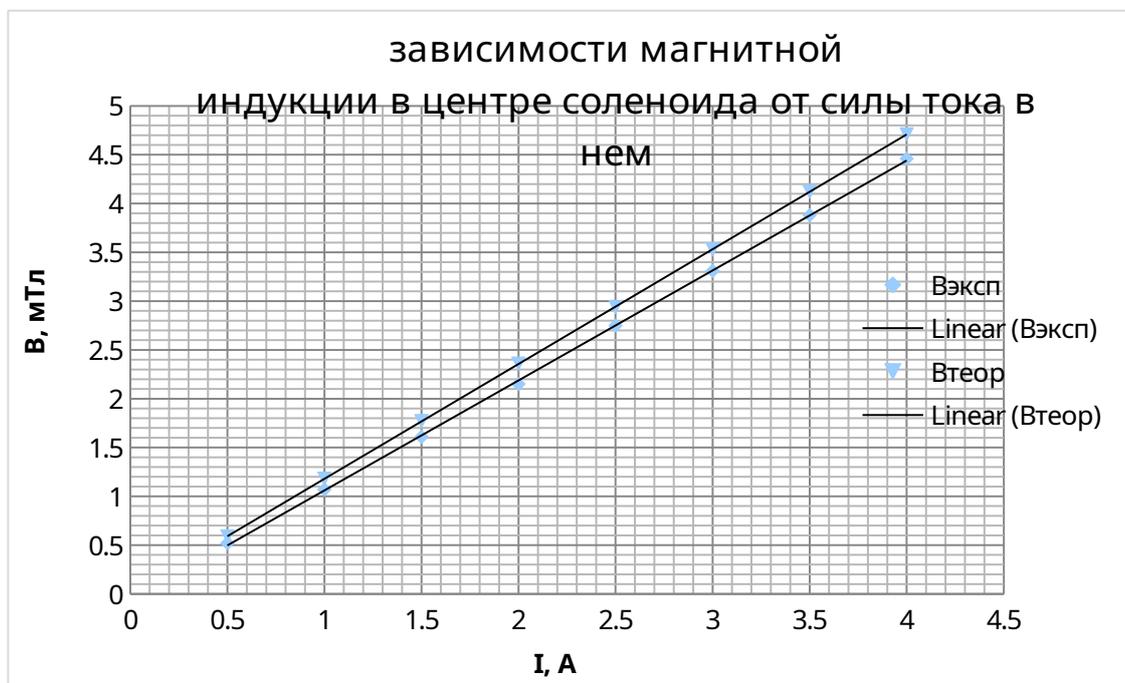


зависимости  
магнитной индукции на оси короткой катушки от расстояния  
до ее центра



зависимости магнитной индукции на оси  
соленоида от расстояния до его центра





### Вывод

В работе были исследованы магнитные поля различной конфигурации и магнитные индукции различных объектов: витка с током, короткой катушки, соленоида; экспериментально оценены значения магнитной индукции при различных расстояниях от центра объектов и при различных силах тока, значение индуктивности соленоида. Было экспериментально вычислено значение индуктивности соленоида (86,31 мкГн), а незначительное расхождение с теоретическим значением (90 мкГн) говорит о достаточной точности проводимых измерений.