

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:

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

где: μ_0 – магнитная постоянная, равная $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ [Тл·м А];

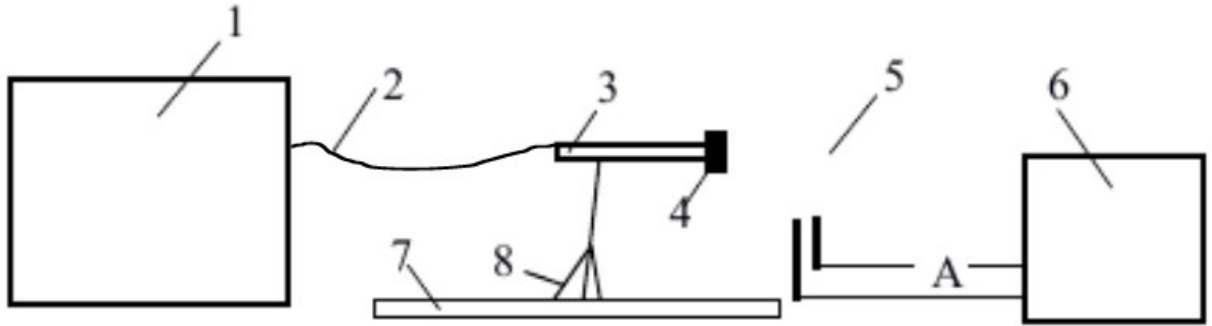
I – сила тока, [I] = А;

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

r – радиус-вектор;

α – 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: Ψ — 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, $[L_c] = \text{Гн}$;

ΔB – погрешность прямых измерений магнитной индукции соленоида, $[\Delta B] = \text{Тл}$; ΔI –

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

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

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

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 ($N_s = 4$, $R_s = 0,03 \text{ м}$, $I = 4 \text{ А}$)

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:

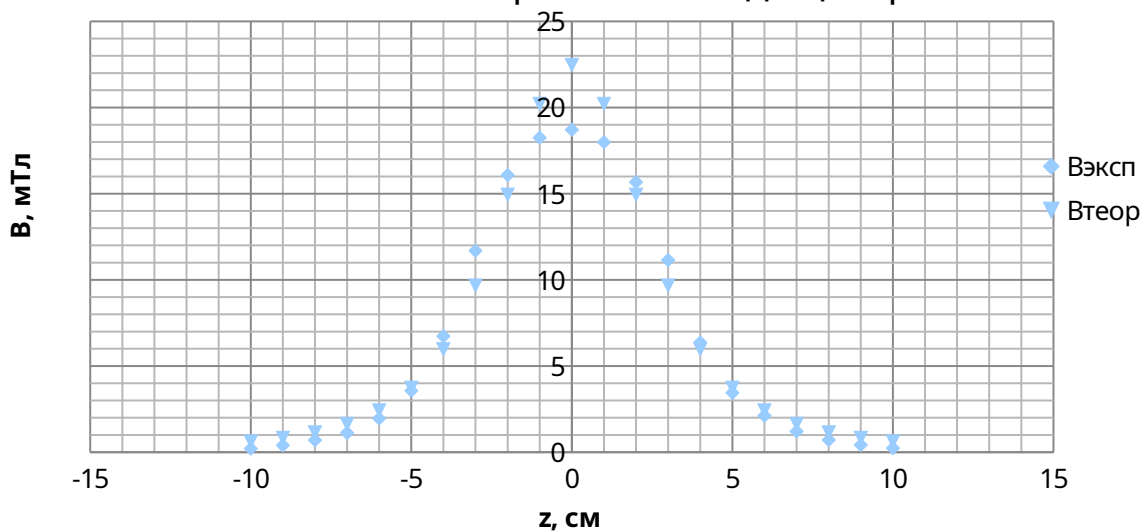
$$\varepsilon = \frac{\Delta L_{эксп}}{L_{эксп}} \cdot 100\% = \frac{1,15 \cdot 10^{-6}}{86,31 \cdot 10^{-6}} \cdot 100\% = 1,3\%$$

Анализ результатов (сравнительная оценка результатов)

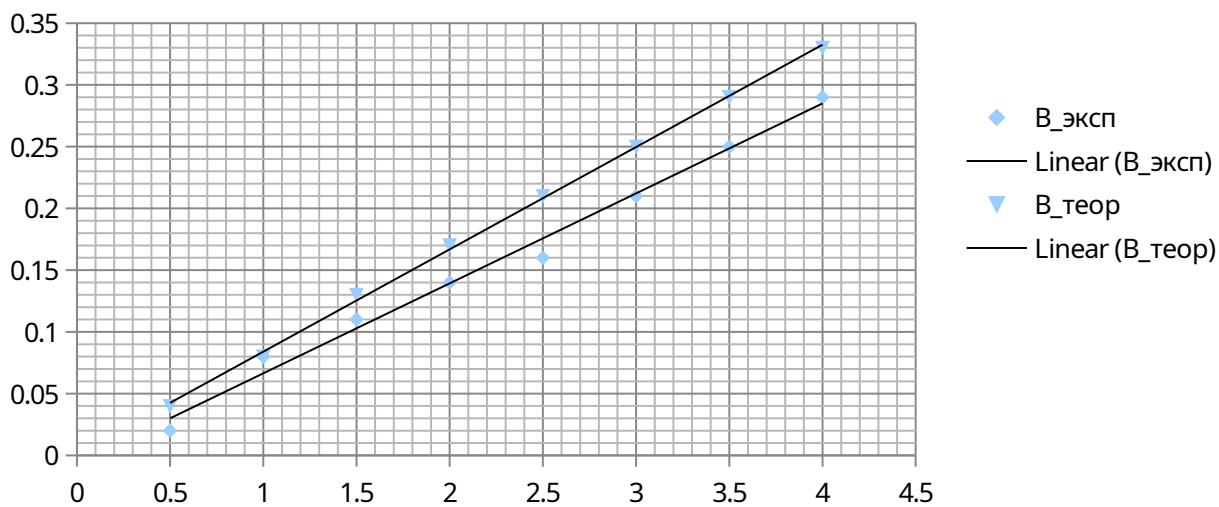
$$\Delta_{\square} = i L_m - L_{эксп} \vee \frac{i}{L_m} \cdot 100\% = \frac{|90,00 - 86,31|}{90,00} \cdot 100\% = 4,1\% i$$

Графики зависимостей

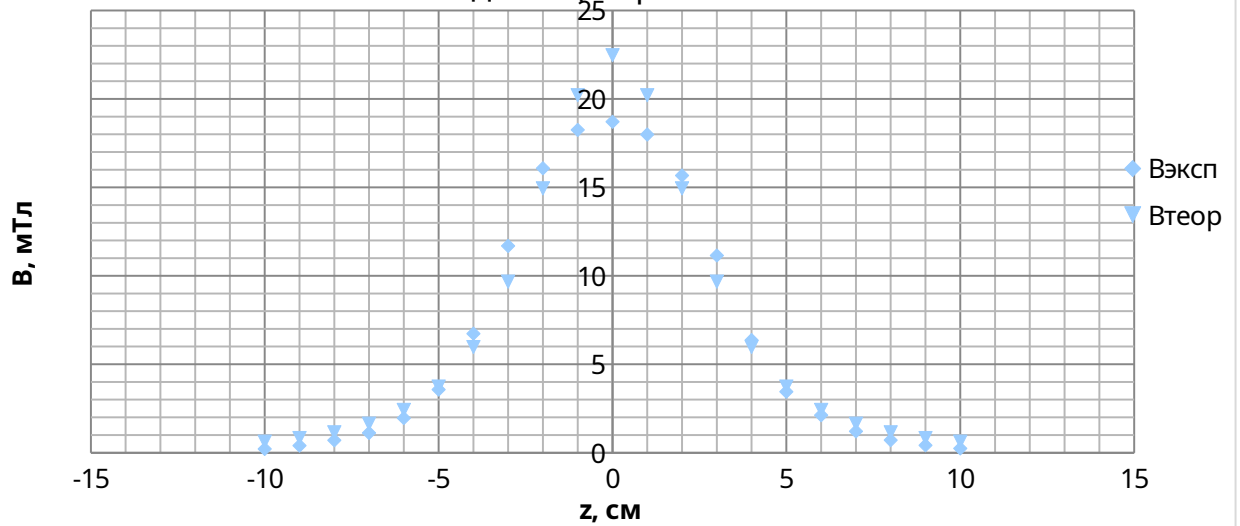
зависимости магнитной индукции на
оси витка от расстояния до центра витка



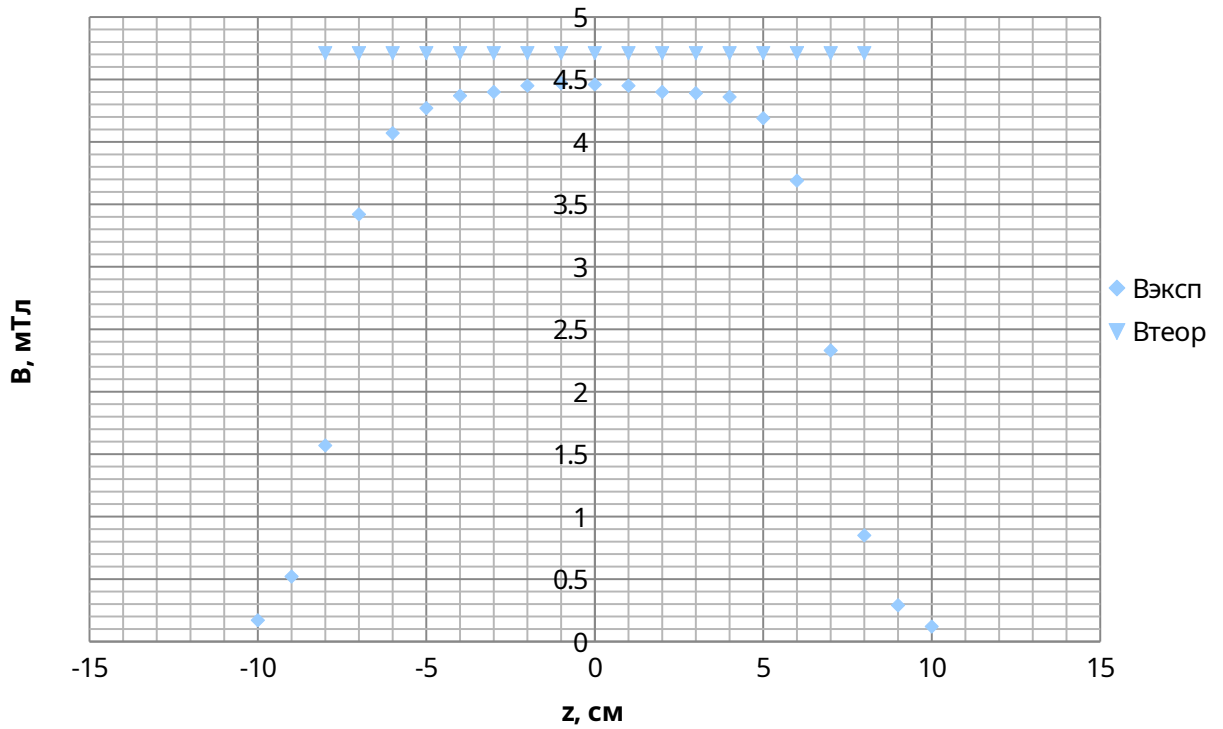
зависимости магнитной
индукции в центре витка от силы тока в нем

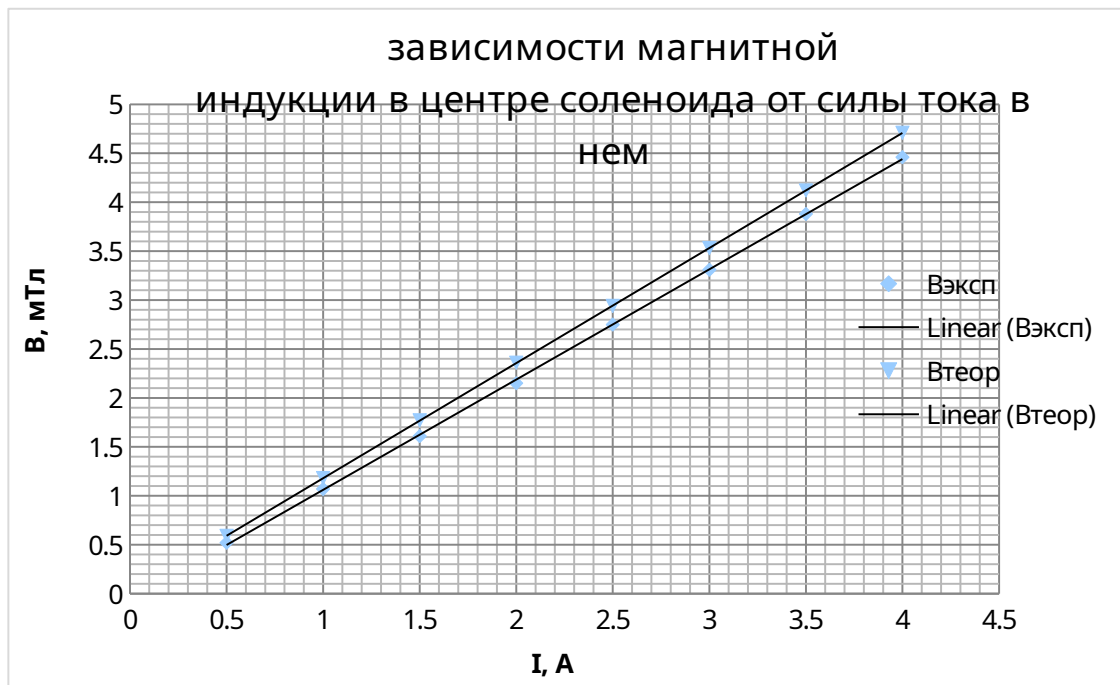


зависимости
магнитной индукции на оси короткой катушки от расстояния
до ее центра



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.