

# Работа 332

## Измерение индукции магнитного поля катушки индуктивности без сердечника

---

---

### Решаемые задачи

- Изучение зависимости индукции магнитного поля катушки индуктивности от силы тока  $I$ .
- Изучение зависимости индукции магнитного поля катушки индуктивности от длины катушки  $L$  и числа витков  $N$ .

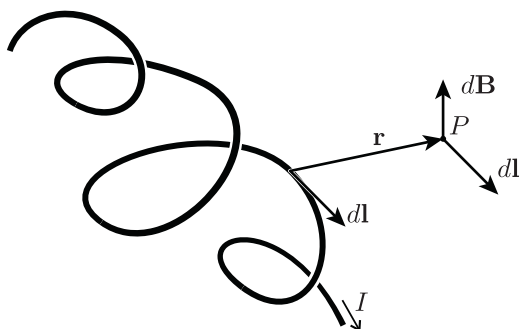
---

---

Согласно закону Био-Савара-Лапласа, индукция магнитного поля  $\mathbf{B}$ , создаваемого в точке  $P$  контуром, по которому протекает электрический ток силы  $I$ , определяется суммой вкладов элементов тока  $d\mathbf{l}$ :

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} \cdot \left[ d\mathbf{l} \frac{\mathbf{r}}{r} \right], \quad (1)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м — магнитная постоянная,  $\mathbf{r}$  — радиус вектор проведенный из элемента тока  $d\mathbf{l}$  в точку  $P$ . Таким образом, для вычисления магнитного поля всего проводника необходимо произвести интегрирование по всем элементам тока.

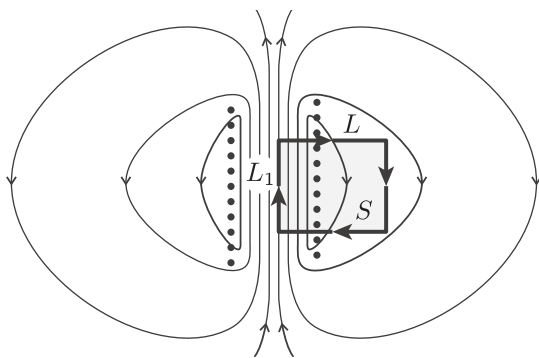


Во большинстве случаев это приводит к довольно громоздким вычислениям и аналитическое решение удается получить только для проводников, обладающих определенной симметрией. Для других условий, например для вычисления магнитного поля длинной катушки (соленоида), более удобным является использование закона Ампера, который, как и закон Био-Савара-Лапласа, может быть получен как вывод из уравнений Максвелла. При этом:

$$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \int_S \mathbf{j} \cdot d\mathbf{S} = \mu_0 \cdot I_S, \quad (2)$$

где  $\mathbf{j}$  — плотность тока,  $I_S$  — сила тока через площадку  $S$ ,  $L$  — замкнутая кривая, ограничивающая площадку  $S$ .

Для того, чтобы рассчитать магнитное поле длинной катушки  $L$  и  $S$  можно выбрать так, как это показано на рисунке:



Если катушка длинная, то магнитное поле внутри катушки направлено параллельно оси симметрии катушки и почти равно нулю за ее пределами, т.е. проекция индукции магнитного поля  $\mathbf{B}$  на элемент ограничивающей кривой  $d\mathbf{l}$  отлична

от нуля только на части  $L_1$ , тогда

$$\oint_L \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \int_{L_1} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = B \cdot L_1. \quad (3)$$

Кроме того,  $I_S = I \cdot N$ , где  $N$  — число витков катушки внутри  $S$ , тогда

$$B = \mu_0 \cdot I \cdot \frac{N}{L_1}. \quad (4)$$

В этой работе для определения магнитного поля внутри катушки используется датчик Холла, ориентированный так, что измеряется магнитное поле в направлении, параллельном оси симметрии катушки.

## Оборудование

Mobile-CASSY	1 шт.	524009
Кабель-удлинитель, 15-полюсной	1 шт.	50111
Сильноточный источник питания	1 шт.	52155
Соединительный провод 100 см красный	1 шт.	50130
Соединительный провод 100 см синий	1 шт.	50131
Аксиальный В-Сенсор	1 шт.	5240382
Катушка с изменяемой плотностью витков	1 шт.	516242

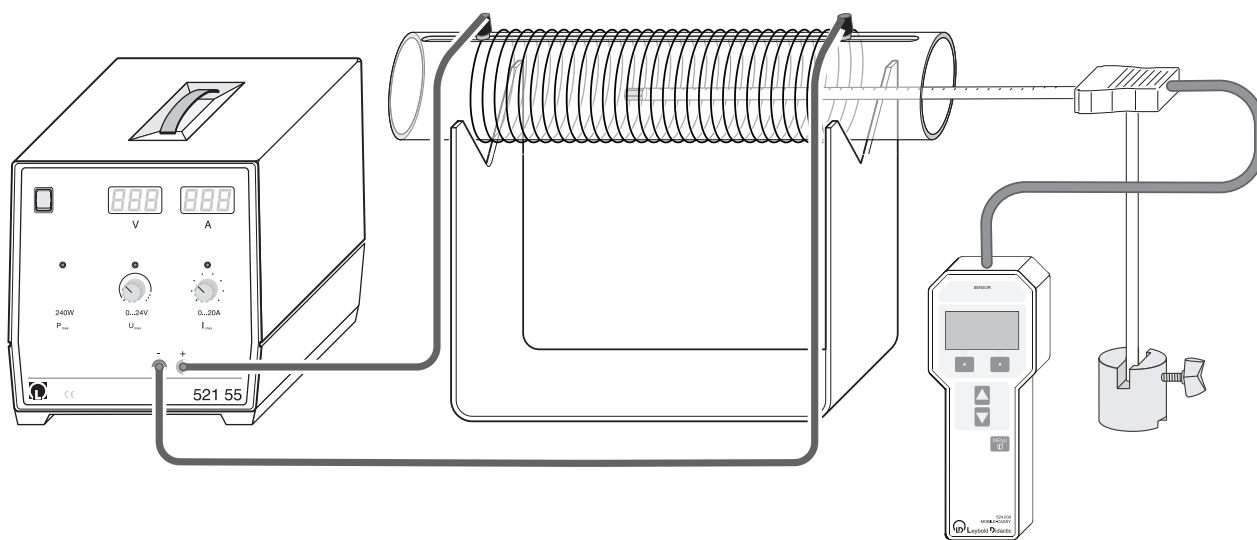


Рис.1. Экспериментальная установка для изучения индукции магнитного поля катушки индуктивности без сердечника.

## Порядок выполнения работы

Соберите схему для изучения индукции магнитного поля катушки индуктивности (см. рисунок 1).

- Разместите катушку с переменной плотностью витков подставке и подключите ее к источнику тока.
- Подключите аксиальный сенсор магнитного поля к Mobile CASSY, закрепите сенсор на опоре так, чтобы датчик Холла, расположенный на окончании щупа сенсора оказался в середине катушки.

## Проведение измерений

### Изучение зависимости индукции магнитного поля катушки индуктивности от силы тока $I$

- Включите Mobile CASSY и обнулите его показания.
- Сдвигая клеммы на катушке, установите её длину  $L$  равной 15 см (клеммы в позициях 12,5 см и 27,5 см по шкале, нанесенной на катушку).
- Увеличивая силу тока в катушке от 0 до 20 А с шагом в 2 А, для каждого значения силы тока  $I$  измерьте индукцию магнитного поля  $B$ .
- Результаты измерений занесите в таблицу.

### Изучение зависимости индукции магнитного поля катушки индуктивности от длины катушки $L$ и числа витков $N$

- Включите Mobile CASSY и обнулите его показания.
- Сдвигая клеммы на катушке, установите её длину  $L$  равной 40 см (клеммы в позициях 0 см и 40 см по шкале, нанесенной на катушку).
- Установите силу тока в катушке 20 А, измерьте индукцию магнитного поля  $B$ .
- Повторите измерения для других значений длины катушки (36, 32, 28, 24, 20, 16, 12, 8 см) каждый раз симметрично с обеих сторон сдвигая клеммы на 2 см.
- Результаты измерений  $L$  и  $B$  занесите в таблицу.

## Обработка результатов

- Постройте график зависимости индукции магнитного поля  $B$  от силы тока  $I$  в катушке. На график нанесите экспериментальные точки и теоретическую кривую, полученную из выражения (4) для  $N = 30$  и  $L = 15$  см.
- Постройте график зависимости индукции магнитного поля  $B$  от количества витков на единицу длины  $n = N/L$ . На график нанесите экспериментальные точки и теоретическую кривую, полученную из выражения (4).
- Постройте график зависимости индукции магнитного поля  $B$  от длины катушки  $L$ . На график нанесите экспериментальные точки и теоретическую кривую, полученную из выражения (4).
- Сделайте вывод о применимости формулы (4) для расчета поля соленоида для разных значений силы тока и геометрических размеров. Объясните полученные результаты.

## **Вопросы для подготовки**

1. Магнитное поле. Вектор магнитной индукции.
2. Силовые линии магнитного поля. Однородные и неоднородные поля.
3. Закон Био-Савара-Лапласа. Магнитное поле кругового тока.
4. Теорема о циркуляции вектора магнитной индукции.
5. Магнитное поле длинного и короткого соленоидов.