

509

**Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кафедра физики

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.6

**ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ
ПОЛЕЙ**

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Минск 2019

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.6

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

2.6.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с одним из методов измерения индукции магнитного поля.
2. Изучить магнитное поле тока катушки.
3. Проверить справедливость принципа суперпозиции магнитных полей.

2.6.2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Магнитное поле – это силовое поле, действующее на движущиеся электрические заряды, проводники с током и на тела, обладающие магнитным моментом (независимо от состояния их движения). Эти же объекты являются источниками магнитных полей.

Так, например, магнитное поле создается токами в электролитах, электрическими разрядами в газах, катодными и анодными лучами, проявляется при движении электронов в атомах, при колебаниях атомных ядер в молекулах, при изменении ориентации элементарных диполей в диэлектриках и т.д. Природа этих источников едина; магнитное поле возникает в результате движения заряженных микрочастиц (электронов, протонов, ионов), а также благодаря наличию у микрочастиц собственного (спинового) магнитного момента.

Силовой характеристикой магнитного поля является магнитная индукция \vec{B} , которая определяет силу, действующую в данной точке поля на движущийся электрический заряд, проводник с током или на тело, обладающее магнитным моментом \vec{p}_m . В СИ единицей измерения магнитной индукции является **тесла** (Тл):

$$1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{м}^2} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{А} \cdot \text{м}^2} = 1 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}. \quad (2.6.1)$$

Магнитного аналога электрическому заряду в природе не существует. Пробным телом, пригодным для определения и измерения магнитного поля, может быть элементарный контур с током, магнитным полем которого можно пренебречь.

Количественной характеристикой контура с током I является его магнитный момент \vec{p}_m :

$$\vec{p}_m = IS\vec{n}, \quad (2.6.2.)$$

где S – площадь поверхности, ограниченной контуром (L); \vec{n} – единичный вектор нормали к этой поверхности.

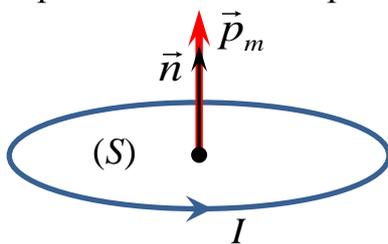


Рис. 2.6.1

Направление тока и единичного вектора нормали к поверхности образуют правовинтовую систему (рис.2.6.1).

На плоский контур с током, помещенный в однородное магнитное поле, действует момент сил:

$$\vec{M} = \left[\vec{p}_m, \vec{B} \right]. \quad (2.6.3)$$

В положении устойчивого равновесия контура $\vec{p}_m \uparrow\uparrow \vec{B}$. Модуль момента сил $M = p_m B \sin \vec{n}, \vec{B}$. $\vec{M} = [\vec{p}_m, \vec{B}]$.

Из соотношения (2.6.3) следует

$$B = \frac{M_{\max}}{p_m}, \quad (2.6.4)$$

где M_{\max} – максимальный момент сил, действующий на контур с током. Направление вектора \vec{B} определяется направлением магнитного момента \vec{p}_m в равновесном положении контура.

Основной задачей теории магнитного поля является расчет характеристик магнитного поля произвольной системы токов и движущихся электрических зарядов. В основе метода расчета магнитных полей лежит **принцип суперпозиции**: вектор магнитной индукции в данной точке магнитного поля, созданного несколькими источниками, равен векторной сумме магнитных индукций полей, создаваемых каждым источником по отдельности в этой точке

$$\vec{B}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i(\vec{r}). \quad (2.6.5)$$

Согласно закону Био – Савара – Лапласа элемент проводника $d\vec{\ell}$ с током силой I создает в точке D с радиус-вектором \vec{r} относительно $d\vec{\ell}$ магнитное поле, вектор индукции $d\vec{B}(\vec{r})$ которого равен

$$d\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I [d\vec{\ell}, \vec{r}]}{r^3}, \quad (2.6.6)$$

где μ_0 – магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м); μ – магнитная проницаемость среды.

Вектор $d\vec{\ell}$ направлен по касательной $\vec{\tau}$ к проводнику по току.

Вектор $d\vec{B}(\vec{r})$ перпендикулярен плоскости (S) , содержащей векторы $d\vec{\ell}$ и \vec{r}

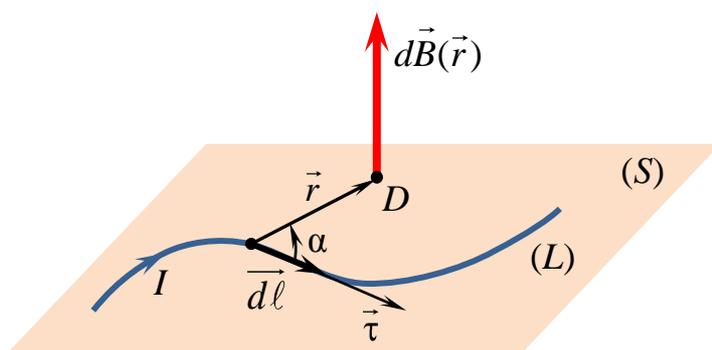


Рис. 2.6.2

(рис.2.6.2). Направление $d\vec{B}(\vec{r})$ совпадает с поступательным движением правого буравчика при вращении его рукоятки в плоскости (S) от $d\vec{\ell}$ к \vec{r} по кратчайшему пути. Индукция магнитного поля, создаваемого линейным проводником (L) с током I , равна:

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \int_{(L)} \frac{[d\vec{\ell}, \vec{r}]}{r^3}, \quad (2.6.7)$$

где интегрирование ведется в направлении тока по всем элементам проводника (L) с током.

Применяя закон Био – Савара – Лапласа и принцип суперпозиции, можно рассчитать индукцию магнитного поля, создаваемого токами различных конфигураций.

В частности, проекция индукции магнитного поля, создаваемого кольцевым проводником с током I в произвольной точке, лежащей на оси проводника на расстоянии x от его плоскости (рис. 2.6.3), равна

$$B_x(x) = \frac{\mu\mu_0}{2} \cdot \frac{IR^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}}. \quad (2.6.8)$$

Зависимость $B_x(x)$ изображена на рис. 2.6.4.

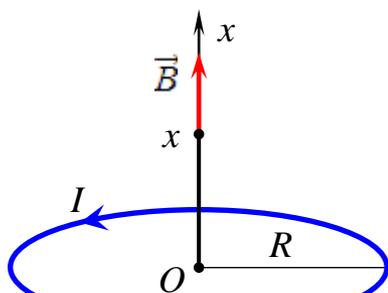


Рис. 2.6.3

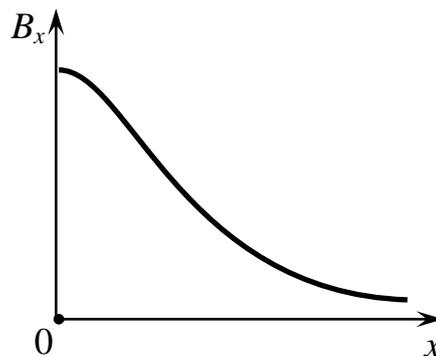


Рис. 2.6.4

В работе исследуются магнитные поля кольцевых токов в двух соосных катушках, расположенных на некотором расстоянии друг от друга (рис. 2.6.5). Направления токов в витках катушек противоположны. В любой точке на оси катушек (оси Ox) индукция магнитного поля равна векторной сумме индукций, создаваемых этими катушками по отдельности в той же точке:

$$\vec{B}(x) = \vec{B}_1(x) + \vec{B}_2(x). \quad (2.6.9)$$

Проецируя (2.6.9) на ось Ox , получаем:

$$B_x(x) = B_{1x}(x) + B_{2x}(x).$$

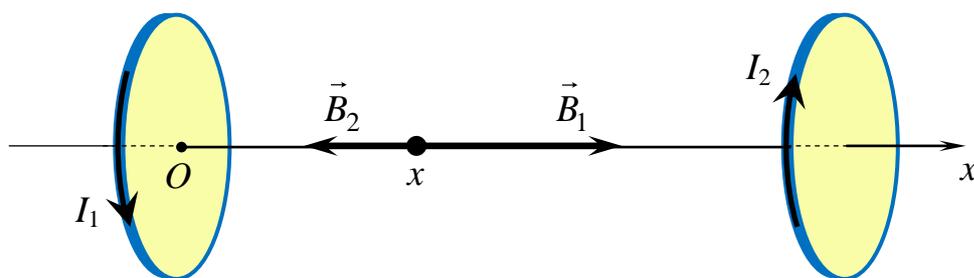


Рис. 2.6.5

Для измерения индукции магнитного поля в работе применяется баллистический гальванометр. Метод измерения величины магнитной индукции основан на явлении электромагнитной индукции – возникновении ЭДС индукции в измерительной катушке при изменении магнитного потока Φ через поверхность, ограниченную витками катушки.

Измерительная катушка расположена так, чтобы вектор $\vec{B}(x)$ перпендикулярен к плоскости ее витков. Проекция магнитной индукции B_x определяется по измерению магнитного потока через поперечное сечение измерительной катушки при включении тока I , создающего поле.

Вследствие этого в измерительной катушке наводится ЭДС индукции \mathcal{E}_i , которая создает импульс тока

$$I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = -\frac{1}{R} \cdot \frac{d\Phi}{dt}, \quad (2.6.10)$$

где R – полное сопротивление цепи.

Этот ток за время Δt перенесет через измерительную цепь заряд

$$Q = \int_0^{\Delta t} I_i \cdot dt = -\frac{1}{R} \cdot \int_0^{\Phi} d\Phi = -\frac{\Phi}{R}. \quad (2.6.11)$$

Так как магнитный поток через поперечное сечение катушки $\Phi = -B_x S N$, где S – площадь ограниченной витком поверхности, в пределах которой поле можно считать однородным, N – число витков катушки, то согласно формуле (2.6.11), по цепи пройдет заряд

$$Q = \frac{B_x S N}{R}. \quad (2.6.12)$$

и отбросит "зайчик" гальванометра на K делений

$$K = \frac{Q}{C_\Gamma}, \quad (2.6.13)$$

где C_Γ – цена деления баллистического гальванометра.

Измеряя максимальное отклонение "зайчика" гальванометра и зная постоянную прибора C_Γ , можно вычислить магнитную индукцию по формуле

$$B = \frac{C_\Gamma R}{NS} K \quad (2.6.14)$$

Принципиальная схема установки изображена на рис.2.6.6.

Исследуемые поля катушек L_1 и L_2 , создаются постоянным током. Заряд Q измеряется баллистическим гальванометром (Γ). Измерительная катушка L_3 жестко насажена на стержень, с помощью которого может перемещаться вдоль осей катушек L_1 и L_2 . Полное сопротивление измерительной цепи R равно сумме сопротивлений катушки L_3 , соединенных проводов и баллистического гальванометра. Ток в катушках L_1 и L_2 изменяется потенциометром R_1 .

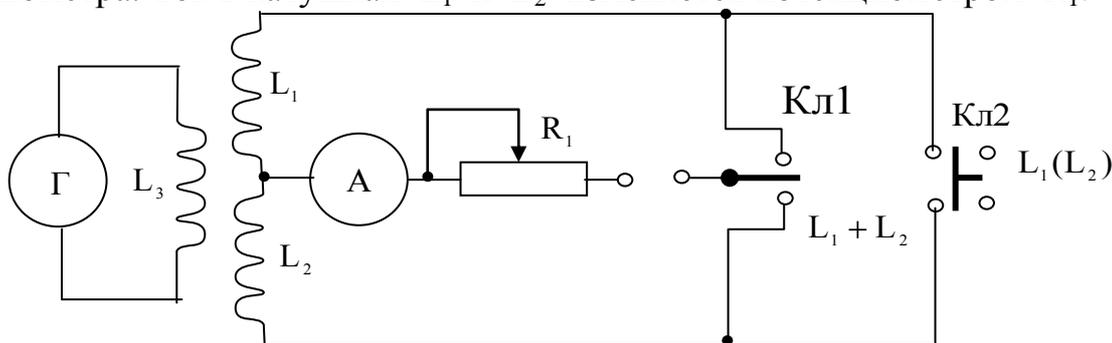


Рис 2.6.6

2.6.3. ЗАДАНИЕ

1. Для каждой из катушек L_1 и L_2 измерить на их оси через каждый сантиметр максимальные отклонения K "зайчика" гальванометра при выключении тока, создающего поле.

Рассчитать магнитную индукцию B на оси катушек по формуле (2.6.14). Данные измерений и расчетов занести в табл. 2.6.1.

Таблица 2.6.1.

$l, \text{ см}$	L_1		L_2		$B_{L1+L2}, \text{ Тл}$	$L_1 + L_2$	
	$K_{L1}, \text{ дел}$	$B_{L1}, \text{ Тл}$	$K_{L2}, \text{ дел}$	$B_{L2}, \text{ Тл}$		$K_p, \text{ дел}$	$B_p, \text{ Тл}$
1							
2							
...							

Построить зависимости $B_{L1} = B_{L1}(l)$ и $B_{L2} = B_{L2}(l)$ в одной системе координат.

2. Прodelать аналогичные измерения результирующего магнитного поля при одновременном протекании тока в катушках L_1 и L_2 , при этом сила тока в каждой катушке должна быть такой же, как и в п. 1. Результаты измерений и расчетов магнитной индукции занести в табл. 2.6.1.

Построить зависимости $B_p = B_p(l)$ и $B(l) = B_{L1}(l) + B_{L2}(l)$ в одной системе координат.

3. Провести анализ полученных результатов.

4. С помощью программы MathCad теоретически рассчитать индукцию магнитного поля, создаваемого токами в катушках L_1 и L_2 , на их оси. Проанализировать экспериментальные и теоретические зависимости.

2.6.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение магнитного поля. Назвать его источники. Сформулировать принцип суперпозиции магнитных полей.
2. Записать закон Био – Савара – Лапласа. Как определить направление вектора $d\vec{B}$?
3. В чем состоит явление электромагнитной индукции? Определить направления индукционного тока в измерительной катушке при включении и выключении тока в катушке, создающей магнитное поле.
4. Перечислить все физические явления, лежащие в основе предложенного метода исследования магнитного поля катушек.
5. Пояснить принцип работы используемой схемы.
6. Используя закон Био – Савара – Лапласа и принцип суперпозиции магнитных полей, получить формулу (2.6.8).

Литература

Савельев И.В. Курс общей физики. Электричество и магнетизм.–М.: Наука, 1988, Т2.