

РАБОТА 7

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Цель работы: Исследование магнитного поля прямого тока, определение магнитной постоянной μ_0 .

Введение

Магнитное поле возникает в пространстве, окружающем проводники с током, подобно тому, как в пространстве, окружающем неподвижные электрические заряды, возникает электрическое поле. Магнитное поле постоянных магнитов также создается электрическими микротоками, циркулирующими внутри молекул. Основной характеристикой магнитного поля является вектор магнитной индукции \vec{B} .

Магнитное поле, создаваемое током I , текущим вдоль тонкого провода (в том числе криволинейного) dl , на расстояние r от него определяется магнитной индукцией \vec{B} согласно закону Био–Савара–Лапласа

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}, \quad (7.1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

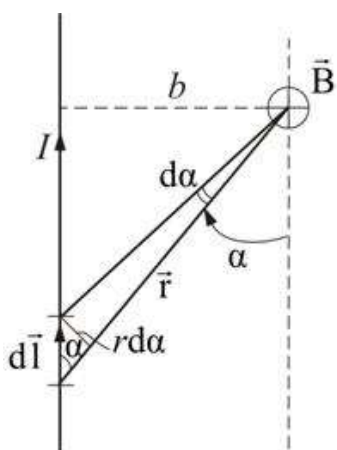


Рис. 7.1

Закон Био–Савара позволяет рассчитывать магнитные поля токов различных конфигураций. Рассчитаем магнитное поле прямого тока, текущего по тонкому прямому проводу бесконечной длины (рис. 7.1).

Все векторы $d\vec{B}$ от произвольных элементарных участков $d\vec{l}$ имеют одинаковое направление. Поэтому сложение векторов можно заменить сложением модулей.

Пусть точка, в которой определяется магнитное поле, находится на расстоянии b от провода. Из рисунка 7.1 видно, что:

$$r = \frac{b}{\sin \alpha}; \quad dl = \frac{r d\alpha}{\sin \alpha} = \frac{b d\alpha}{\sin^2 \alpha}. \quad (7.2)$$

Подставив найденные значения r и dl в закон Био–Савара–Лапласа (7.1), получим:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Ib \cdot d\alpha \cdot \sin \alpha \sin^2 \alpha}{\sin^2 \alpha \cdot b^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{b} \sin \alpha d\alpha. \quad (7.3)$$

Для *конечного проводника* угол α изменяется от α_1 до α_2 . Тогда

$$B = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2). \quad (7.4)$$

Для *бесконечно длинного проводника* угол $\alpha_1 = 0$, а $\alpha_2 = \pi$, тогда

$$B = \frac{\mu_0 2I}{4\pi b}. \quad (7.5)$$

Линии магнитной индукции прямого тока представляют собой систему концентрических окружностей, охватывающих ток (рис.7.2).

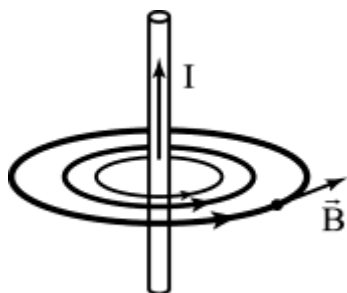


Рис. 7.2

Магнитное поле оказывает ориентирующее воздействие на рамку с током, которой приписывается величина

$$\vec{P}_m = IS\vec{n} \quad (7.6)$$

называемая магнитным моментом, где I – сила тока в контуре, S – площадь, охватываемая контуром рамки, \vec{n} – единичный вектор нормали к площади S , связанной с направлением в контуре правилом правого винта.

Направление вектора \vec{B} определяется направлением вектора \vec{P}_m магнитного момента контура с током, помещенного в магнитное поле, а модуль B определяется отношением максимального механического момента M , действующего на этот контур, к значению магнитного момента P_m :

$$B = \frac{M_{\text{МАКС}}}{P_m} = \frac{M_{\text{МАКС}}}{IS}. \quad (7.7)$$

Магнитные поля возникают при движении заряженных частиц, в том числе при протекании тока в проводнике.

Для длинного прямого проводника с током I в точке на кратчайшем расстоянии b от проводника магнитная индукция определяется формулой (7.5)

Из формулы (7.5) видно, что индукция прямого тока прямо пропорциональна силе тока и обратно пропорциональна расстоянию.

Методика выполнения работы

Схема установки представлена на рис. 7.3. В работе используется прямой проводник 4 с горизонтальной платой 5. На оси проводника надета линейка 6, на которой укреплена магнитная стрелка с угломерным кругом 7. Проводник подключен к источнику питания 1 через двойной переключатель 3 и реостат 8. Реостат позволяет плавно регулировать силу

тока в цепи, которая определяется амперметром 1. С помощью двойного переключателя изменяется направление тока в схеме.

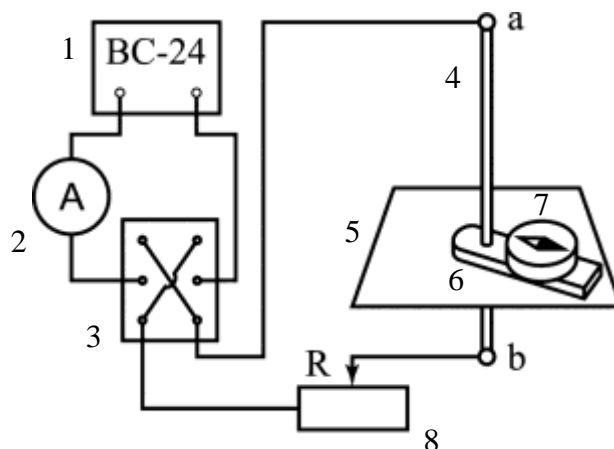


Рис. 7.3.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Исследование магнитного поля прямого тока.

1. Соберите электрическую цепь по схеме, изображенной на рис. 7.3.
2. Поверните линейку так, чтобы конец магнитной стрелки смотрел на вертикальный проводник.
3. Расположите ось магнитной стрелки на расстоянии $r_1 = 35 - 50 \text{ см}$ от оси проводника.
4. При выведенном регуляторе напряжения и положении ползунка реостата посередине включите источник тока. Вращая ручку регулятора напряжения и передвигая ползунок реостата, установите в цепи ток такой силы I_1 , чтобы магнитная стрелка отклонилась на угол $\alpha_1 = 20^\circ$. Полученное значение силы тока запишите в таблицу 7.1
5. Увеличьте силу тока в цепи до I_2 , при которой магнитная стрелка отклонилась бы на угол $\alpha_2 = 45^\circ$, а затем до значения I_3 , соответствующего отклонению стрелки на угол $\alpha_3 = 60^\circ$. Измеренные величины запишите в табл. 7.1. Учтите, что $\Delta \text{tg} \alpha = \Delta \alpha / \cos^2 \alpha$
6. Проведите измерения для r_2 вдвое больше, чем r_1 для углов $\alpha_1 = 10^\circ$, $\alpha_2 = 25^\circ$ и $\alpha_3 = 40^\circ$.

№ измерения	$(r_1 \pm \Delta r_1) =$			$(r_2 \pm \Delta r_2) =$		
	1	2	3	1	2	3
$I \pm \Delta I, A$						
$\alpha \pm \Delta \alpha$						
$tg\alpha \pm \Delta tg\alpha$						

7. Из рис. 7.4 видно, что $tg\alpha = B(I)/B_0$, где $B(I)$ – магнитная индукция поля прямого тока, а B_0 – горизонтальная составляющая магнитной индукции магнитного поля Земли в районе Москвы ($B_0 = 19,8 \mu Tл$).

Постройте график зависимости $tg\alpha = B/B_0 = f(I)$ для r_1 и r_2 (рис. 7.5). Убедитесь, что $B/B_0 \sim I$, т.е. что $B \sim I$.

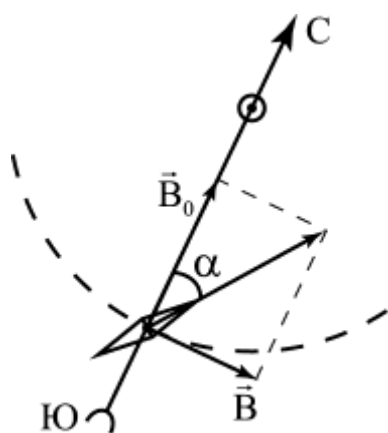


Рис. 7. 4.

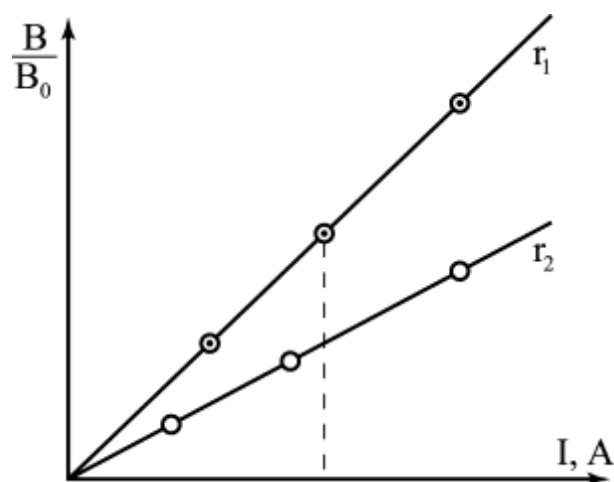


Рис. 7.5.

8. На графике произвольно проведите прямую $I' = const$. Убедитесь, что ординаты $B_1(I'_1)$ и $B_2(I'_2)$ относятся как $B_1/B_2 = r_2/r_1$ (в пределах погрешностей). Это означает, что $B(I, r) = kI/r$.

9. При отклонении стрелки на 45° $B(I) = B_0$. По данным B_0 , I и r рассчитайте коэффициент пропорциональности k по формуле

$$k = B_0 \frac{r_1}{l} \pm B_0 \frac{r_1}{l} \sqrt{E_r^2 + E_l^2 + E_{tg\alpha}^2}, \text{Тл} \cdot \text{м}/\text{А},$$

где E_r , E_l , $E_{tg\alpha}$ – соответствующие относительные погрешности.

Учитывая, что $k = \frac{\mu_0}{2\pi} = 2,0 \cdot 10^{-7}, \text{Гн}/\text{м}$, определите магнитную постоянную μ_0 и сравните ее с табличным значением.

10. Определите погрешность магнитной постоянной μ_0 .

Задание 2. С помощью двойного переключателя измените направление тока в схеме и повторите задание 1 записывая значения в таблицу 7.2

Контрольные вопросы

1. Что такое линии магнитной индукции \vec{B} ?
2. Изобразите линии магнитной индукции прямого и подковообразного магнита.
3. Почему линии магнитной индукции всегда замкнуты?
4. Какую форму имеет линия индукции, проходящая через центр витка с током?
5. Во сколько раз магнитная сила меньше электрической для двух движущихся точечных электрических зарядов?