

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 42
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕКТОРА
ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Цель работы: изучить магнитное поле Земли; определить горизонтальную составляющую вектора индукции магнитного поля Земли.

1. Краткая теория

Магнитное поле – одна из форм проявления электромагнитного поля.

Магнитное поле действует только на движущиеся электрически заряженные частицы или тела, на проводники с током и на частицы или тела, обладающие магнитным моментом, и создается этими же объектами.

Основными характеристиками магнитного поля являются магнитная индукция B , напряженность H , магнитный поток Φ .

Магнитная индукция B – силовая характеристика магнитного поля, численно равная силе, действующей на единицу длины проводника, по которому течет ток единичной силы и который расположен перпендикулярно к направлению силовых линий.

$$B = \frac{F}{Il} \quad (1)$$

Индукция B измеряется в Теслах (Тл).

Другой силовой характеристикой магнитного поля является напряженность \vec{H} , которая не зависит от магнитных свойств среды и которая связана с \vec{B} соотношением:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu}, \quad (2)$$

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

Для графического изображения магнитных полей удобно пользоваться линиями магнитной индукции (Рис. 1а). Линиями магнитной индукции называют линии, проведенные в магнитном поле так, что вектор B в каждой точке этой линии направлен по касательной к ней. Линии магнитной индукции проще всего наблюдать с помощью мелких игольчатых железных опилок (Рис. 2), которые намагничиваются в исследуемом поле и ведут себя подобно маленьким магнитным стрелкам. Из (Рис. 1 б, в, г) видно, что линии магнитной индукции охватывают проводники с током. Вблизи проводника линии магнитной индукции лежат в плоскостях, перпендикулярных проводнику.

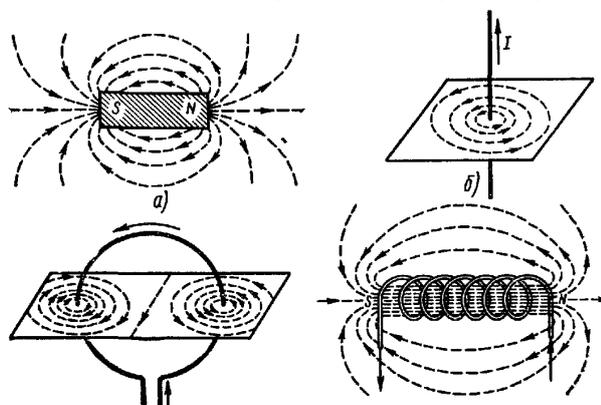


Рис.1. Направление магнитных силовых линий около токов различной конфигурации.

Направление линий индукции магнитного поля тока определяется по известному правилу буравчика: если ввинчивать буравчик по направлению вектора плотности тока в

проводнике, то направление движения рукоятки буравчика укажет направление линий магнитной индукции.

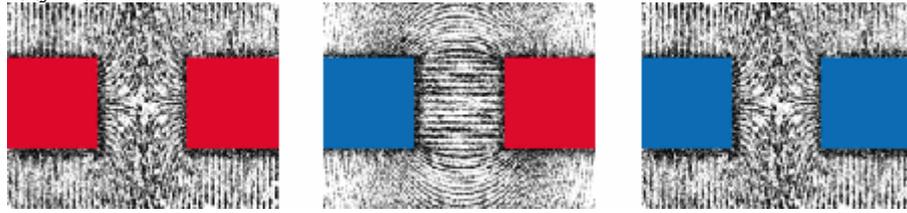


Рис.2. Визуализация линии магнитной индукции, с помощью мелких железных опилок.

Линии магнитной индукции всегда замкнуты и охватывают проводники с токами, создающими поле (рис. 1 б, в, г). Замкнутость линий индукции является выражением отсутствия в природе свободных магнитных зарядов.

Закон Био-Савара-Лапласа

Закон Био-Савара-Лапласа устанавливает величину и направление вектора магнитной индукции в произвольной точке магнитного поля, создаваемого в вакууме элементом проводника с током.

При наложении магнитных полей справедлив принцип суперпозиции. В соответствии с принципом суперпозиции магнитная индукция \vec{B} в любой точке магнитного поля проводника с током \vec{I} равна векторной сумме индукций $\Delta\vec{B}_i$ элементарных магнитных полей, создаваемых всеми отдельными участками Δl_i этого проводника:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta\vec{B}_i, \quad (3)$$

где n — общее число участков, на которые он разбит.

Неограниченно увеличивая число участков n и переходя к пределу при $\Delta B \rightarrow 0$, можно заменить сумму, стоящую в правой части уравнения (3), интегралом:

$$\vec{B} = \int_l d\vec{B} \quad (4)$$

Закон Био-Савара-Лапласа в дифференциальной форме записывается:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Il \sin \alpha}{r^2} \quad (5)$$

Поле кругового тока

Для магнитного поля в центре кругового витка радиуса R (рис. 3), по которому течет ток I , имеем:

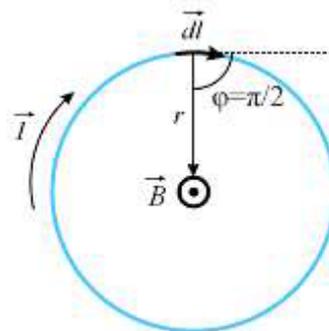


Рис.3. Расчет кругового тока ($r = R$, $\varphi = \pi/2$, $\sin \alpha = 1$)

$$B_{\text{центр}} = \int dB = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R^2} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu\mu_0 I}{2R} \quad (6)$$

Напряженность B для N круговых витков, используя формулу (6) и принцип суперпозиции полей, будет в N раз больше.

$$B_{\text{центр}}^{\text{N витков}} = \frac{\mu\mu_0}{2R} NI \quad (7)$$

Как известно, Земля обладает магнитным полем. Магнитное поле Земли (рис. 4 б), искривляющее траекторию заряженных частиц, предохраняет ее от "солнечного ветра" – мощного потока заряженных частиц, испускаемых Солнцем.

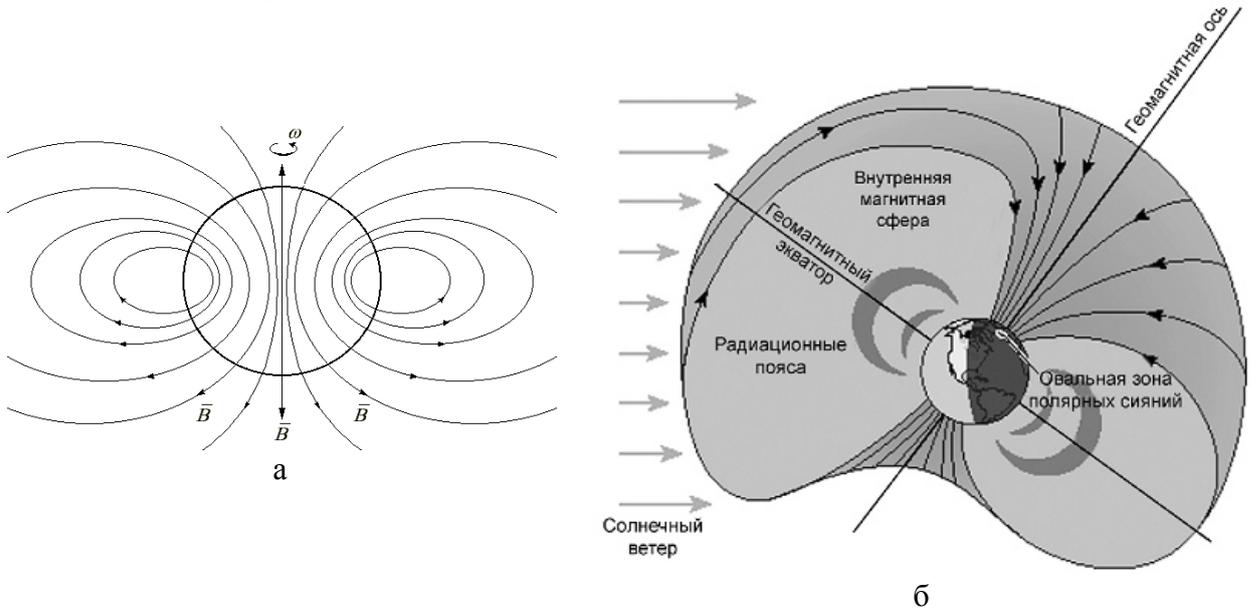


Рис.4. Магнитное поле Земли

В любой точке пространства, окружающего Землю, и на ее поверхности обнаруживается действие магнитного поля. Как и любой вектор, вектор индукции магнитного поля Земли B_3 можно представить в виде суммы двух векторов – его горизонтальной и вертикальной составляющих. Число линий индукции, пронизывающих воображаемую площадку в 1 м^2 , перпендикулярную полю, должно равняться величине магнитной индукции на этой площадке. Силовые линии магнитного поля Земли (вектора магнитной индукции B_3), изображены на рис.4.

Если поместить в магнитное поле Земли легкую магнитную стрелку, которая может поворачиваться только вокруг вертикальной оси, то она под действием горизонтальной составляющей поля, отклонится на некоторый угол. Следует иметь в виду, что магнитные полюса Земли не совпадают с ее географическими полюсами. Если магнитная стрелка может свободно вращаться лишь вокруг вертикальной оси, то она будет устанавливаться под действием горизонтальной составляющей магнитного поля Земли в плоскости магнитного меридиана. Горизонтальная составляющая B_H , магнитное склонение α и наклонение θ называются элементами земного магнетизма. Все элементы земного магнетизма изменяются с течением времени. Существующие в настоящее время теории земного магнетизма можно разбить на две группы:

1. Теории, объясняющие наличие магнитного поля электрическими токами, циркулирующими на больших глубинах в жидком ядре Земли.

2. Теории, основанные на предположении, что земная кора содержит в разных своих участках различное количество магнитных пород. Однако происхождение магнитного поля Земли в настоящее время еще не выяснено.

2. Описание экспериментальной установки

В данной работе для измерения горизонтальной составляющей магнитной индукции магнитного поля Земли используется тангенс-гальванометр. Тангенс-гальванометром называют плоскую катушку с магнитной стрелкой, помещенной в ее центр. Схема и фото экспериментальной установки изображены на рис. 5.

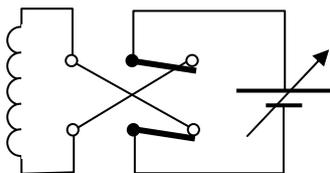


Рис.5. Схема и фото установки.

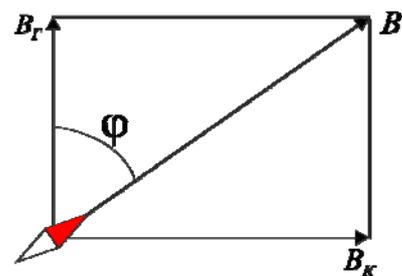


Рис.6. Магнитная стрелка тангенс-гальванометра.

Катушка подключена к источнику постоянного напряжения. Направление силы тока через катушку изменяют переключателем Π . Радиус катушки $r = 0.15$ м; число витков $N = 350$.

Индукция магнитного поля катушки в ее центре B_k перпендикулярна плоскости катушки. Если расположить плоскость катушки тангенс-гальванометра в плоскости магнитного меридиана, то магнитное поле катушки B_k будет направлена перпендикулярно магнитному полю Земли B_r . Магнитное поле катушки B_k вычисляется по формуле (7). По принципу суперпозиции это поле равно векторной сумме слагаемых полей: горизонтальной составляющей индукции B_r магнитного поля Земли и магнитной индукции катушки B_k . В результате магнитная стрелка устанавливается в направлении результирующего поля B (рис. 6). Из рис. 6 следует:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{B_k}{B_r} \quad (8)$$

Из уравнений (7) - (8) получим:

$$B_r = \frac{\mu_0 N}{2r} \cdot \frac{I}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (9)$$

Порядок выполнения работы

1. Установите плоскость катушки тангенс-гальванометра в плоскости магнитного меридиана Земли (вдоль магнитной стрелки).
2. Включите переключатель Π . Вращая колесико переключателя на источнике питания установите ток $10 \text{ мА} = 0.01 \text{ А}$ и, когда магнитная стрелка придет в равновесие, отсчитайте угол φ .
3. Проведите измерения угла φ при 5-7 различных значениях силы тока в интервале $0,01 \div 0,08 \text{ А}$ и заполните таблицу.
4. Измените направление тока переключателем Π и снова измерьте величину угла φ . (перед измерениями переключатель Π устанавливайте в среднее положение).

n	1	2	3	4	5	6	7
$x = I$							
φ_+							
φ_-							
$\varphi = (\varphi_+ + \varphi_-)/2$							
$y = \operatorname{tg} \varphi$							

Уравнение (8) преобразуем к виду:

$$\langle \operatorname{tg} \varphi \rangle = \frac{\mu_0 N}{B_r \cdot 2r} \cdot I \quad (10)$$

Уравнение (10) представим в виде уравнения прямой линии $y = bx + a$.

где

$$x = I, \quad y = \operatorname{tg} \varphi, \quad b = \frac{\mu_0 N}{B_r \cdot 2r}. \quad (11)$$

5. Постройте график зависимости $\operatorname{tg} \varphi$ от I

Обработка экспериментальных данных

А. Графический метод

1. Определите угловой коэффициент b на графике зависимости $\operatorname{tg} \varphi$ от I .
2. По найденному значению b из (11) определить среднее значение горизонтальной составляющей магнитной индукции $\langle B_r \rangle = \frac{\mu_0 N}{b \cdot 2r}$.

Б. Аналитический метод

1. Рассчитайте b и $S_b = \frac{1}{\sqrt{n-2}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} - b^2}$, где $\langle \dots \rangle$ - означают средние значения

соответствующих величин.

2. По найденному значению b из (11) определите горизонтальную составляющую магнитной индукции поля Земли и рассчитайте погрешность её измерения $S_r = \langle B_r \rangle \frac{S_b}{b}$.
3. Окончательный результат представьте в виде: $B_r = \langle B_r \rangle \pm S_r$.

Контрольные вопросы

1. Характеристики магнитного поля и их единицы измерения в системе СИ.
2. Закон Био-Савара-Лапласа. Поле прямого и кругового тока.
3. Теорема о циркуляции B . Поле соленоида и тороида.
4. Объясните методику определения горизонтальной составляющей магнитной индукции магнитного поля Земли.

Литература

1. Трофимова Т.А. Курс физики. -М.: Высшая школа, 2004. §§ 109-114.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. -М.: Высшая школа, 1998, т. II, §§ 6.1-6.12.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. -М: Высшая школа, 1989. §§ 21.1-21.3.