

НИМИ Кафедра МП	ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ	Факультет –
		Группа –
		Ф.И.О.

Цель работы. Изучить характеристики магнитного поля Земли и определить горизонтальную составляющую вектора индукции земного магнитного поля.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Одновременно с движущимся зарядом или током движется его электрическое поле. Движущее электрическое поле изменяет свойства окружающего пространства, образуя магнитное поле. Следовательно, магнитное поле является следствием изменения или движения электрического поля.

Магнитное поле является особым видом материи и обнаруживает себя силовым взаимодействием с движущимся электрическим зарядом (током) или другим магнитным полем. Силовой характеристикой магнитного поля является магнитная индукция $\vec{B}$, вектор которой равен максимальной силе, действующей в данной точке поля на единичный заряд, движущийся с единичной скоростью, т.е.:

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}_{\max}}{q \cdot v}$$

Связь магнитной индукции с электрическим током, образующим магнитное поле, определяется законом Био–Савара–Лапласа, по которому модуль вектора магнитной индукции, созданной элементом тока тонкого проводника, равен:

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I(dl)}{r^2} \sin \alpha$$

где: I – сила тока в проводнике;

$\vec{dl}$ – элемент длины проводника (вектор, направление которого совпадает с направлением тока);

$I\vec{dl}$ – элемент тока;

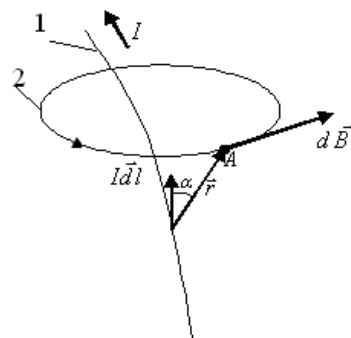
$\vec{r}$ – радиус–вектор, направленный от середины элемента тока до заданной точки;

α – угол между вектором $\vec{r}$ и вектором $\vec{dl}$;

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

Направление вектора $\vec{B}$ в заданной точке поля определяется вращением правоходового винта, если он при этом перемещается по направлению тока в проводнике (см. рисунок 1).

$$B_K = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 \mu I dl}{4\pi r^2} \sin \alpha$$

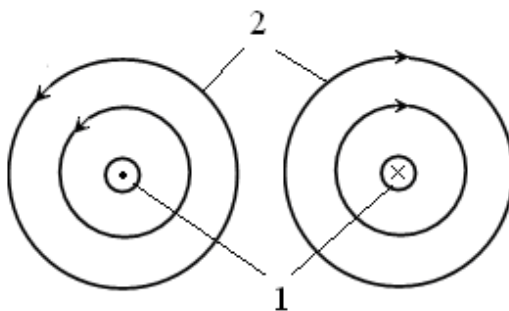


1 - проводник с током; 2 - силовая линия магнитного поля

Рисунок 1 – Направление вектора $\vec{B}$ в заданной точке поля.

Так как магнитное поле является силовым, то его можно изобразить графически с помощью силовых линий, касательные к которым направлены так же, как вектор магнитной индукции в данной точке. Например, силовые линии (линии магнитной индукции) для магнитного поля прямолинейного проводника с током будут концентрическими замкнутыми окружностями (см. рисунок 2).

Замкнутость магнитных силовых линий, в отличие от электрических силовых линий, является фундаментальным свойством магнитного поля и доказывает отсутствие в природе магнитных зарядов, как источников магнитного поля.



1 – проводники с током, 2 – силовые линии.

Рисунок 2 – Графическое изображение магнитного поля.

Принцип суперпозиции (наложения) магнитных полей: магнитная индукция результирующего поля равна векторной сумме магнитных индукций складываемых полей, т. е.:

$$\vec{B} = \sum \vec{B}_i$$

Как известно, Земля создаёт в окружающем пространстве магнитное поле, обусловленное токами в жидком земном ядре. Силовые линии магнитного поля выходят из центра Земли через южное полушарие и, обогнув Землю, входят в её центр через северное полушарие (см. рисунок 3). Проекция силовых линий на поверхность Земли называются магнитными меридианами, направление которых определяется компасом с магнитной стрелкой. Южный магнитный полюс расположен вблизи северного географического полюса, а северный магнитный полюс расположен вблизи южного географического полюса.

Магнитное поле Земли уменьшается примерно на 1% за каждые 10 лет.

$$B_K = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0 \mu I dl}{4\pi r^2} \sin \alpha$$

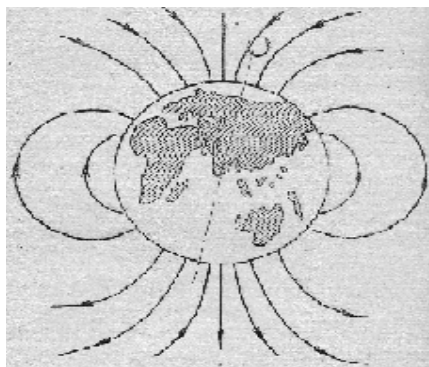


Рисунок 3 – Силовые линии магнитного поля Земли.

Так как вектор магнитной индукции направлен по касательной к силовой линии, то, как видно на рисунке 3, на экваторе он будет направлен горизонтально поверхности Земли, а у магнитных полюсов – вертикально.

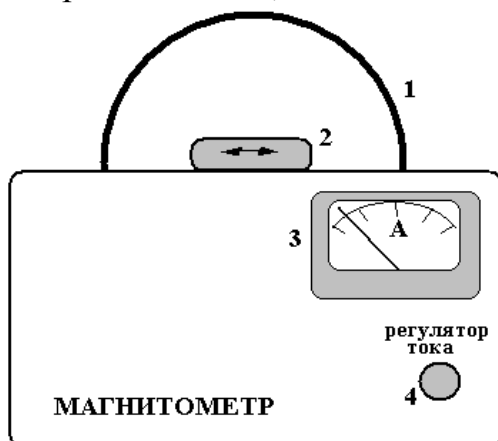
В средних широтах Земли вектор индукции имеет горизонтальную и вертикальную составляющие, так как он наклонён под углом к поверхности Земли.

Угол наклона вектора индукции к поверхности Земли называется магнитным наклоном, а угол между магнитным и географическим меридианами называется магнитным склонением.

Горизонтальная составляющая вектора индукции магнитного поля Земли изменяется от нуля на магнитных полюсах до $41 \cdot 10^{-3}$ Тл. на экваторе и используется в навигации, геодезии, военном деле и др.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

На рисунке 4 показан магнитометр для определения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля в заданной точке Земли. Магнитометр состоит из катушки 1 с двадцатью витками электрического провода и компаса 2 с магнитной стрелкой. Катушка магнитометра расположена в вертикальной плоскости, а компас расположен в центре катушки в горизонтальной плоскости. Электрический источник питания катушки имеет регулятор тока 4 для задания постоянного тока в катушке в пределах от 0,1А до 0,5А и амперметр 3 для его измерения с приведенной погрешностью 1,0.



- 1 – катушка с витками электрического провода;
2 – компас с магнитной стрелкой;

$$B_K = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0 \mu I dl}{4\pi r^2} \sin \alpha$$

3 – амперметр; 4 – регулятор тока.

Рисунок 4 – Магнитометр.

3. РАСЧЁТНАЯ ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕКТОРА ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

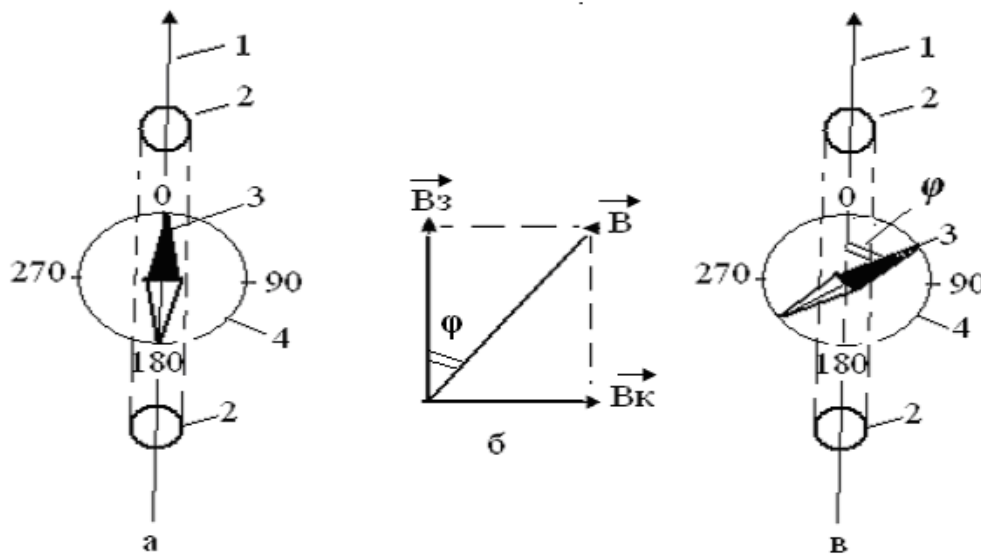
При отсутствии тока в катушке магнитная стрелка под действием магнитного поля Земли устанавливается по направлению магнитного меридиана (см. рисунок 5,а). При этом угол между плоскостью магнитного меридиана и плоскостью магнитной стрелки равен нулю.

Если по виткам катушки 2 пропустить ток, то на магнитную стрелку 3 будут действовать два поля: магнитное поле Земли и магнитное поле катушки. По принципу суперпозиции магнитных полей результирующий вектор индукции $\vec{B}$ этих полей будет равен векторной сумме (см. рисунок 5, б), т.е.:

$$\vec{B} = \vec{B}_Z + \vec{B}_K,$$

где: $\vec{B}_Z$ – горизонтальная составляющая вектора индукции магнитного поля Земли;

$\vec{B}_K$ – вектор индукции магнитного поля в центре катушки с током.



1 – направление магнитного меридиана; 2 – катушка магнитометра;
3 – магнитная стрелка; 4 – шкала компаса; φ – угол отклонения магнитной стрелки.

Рисунок 5 – Схема магнитометра (вид сверху).

Магнитная стрелка устанавливается по направлению результирующего вектора $\vec{B}$, при этом по шкале компаса 4 можно определить угол отклонения магнитной стрелки φ (см. рисунок 5в). Так как изначально векторы $\vec{B}_Z$ и $\vec{B}_K$ установлены

взаимно перпендикулярно, то $\operatorname{tg} \varphi = \frac{B_K}{B_Z}$, откуда:

$$B_K = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0 \mu I dl}{4\pi r^2} \sin \alpha$$

$$B_3 = \frac{B_K}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (1)$$

Значение индукции магнитного поля от одного витка в центре катушки рассчитывается по закону Био-Савара-Лапласа:

(2)

Величины в уравнении (2) $\mu_0; \mu; I; 4\pi; r = R$ и $\alpha = 90^\circ$ сохраняются постоянными при эксперименте. Следовательно, для N витков катушки магнитометра после интегрирования уравнения (2) получим значение индукции магнитного поля в центре катушки:

$$B_K = \frac{\mu_0 \mu I N}{2R} = \frac{\mu_0 \mu I N}{d}$$

Подставим значение B_K в формулу (1) и после преобразований получим расчетную формулу для определения среднего значения горизонтальной составляющей вектора индукции $\tilde{B}_3$ магнитного поля Земли:

$$\tilde{B}_3 = \frac{\mu_0 \mu \tilde{I} N}{\tilde{d} \cdot \operatorname{tg} \tilde{\varphi}} \quad (3)$$

где: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ – магнитная постоянная;

$\mu = 1$ – магнитная проницаемость воздуха;

$\tilde{I}$ – сила тока в катушке магнитометра, А;

$N = 20$ – количество витков в катушке магнетометра;

$d = (0,263 \pm 0,002)$ м – диаметр витков катушки;

$\tilde{\varphi}$ – угол отклонения магнитной стрелки от магнитного меридиана при протекании тока через катушку.

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Установите магнитометр на горизонтальную поверхность вдали от источников магнитных полей и металлических конструкций.
2. Включите магнитометр в электрическую сеть.
3. Выключите «РЕГУЛЯТОР ТОКА» 4 (рис.4), поворачивая его против часовой стрелки.
4. Поворачивая магнитометр, совместите вертикальную плоскость катушки с витками 1 с магнитной стрелкой компаса 2. При этом концы магнитной стрелки должны указывать 0° и 180° на шкале компаса.
5. Включите «РЕГУЛЯТОР ТОКА» 4 и установите по амперметру 3 заданную преподавателем силу тока в катушке.
6. По шкале компаса определить угол отклонения стрелки φ .

$$B_K = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0 \mu I dl}{4\pi r^2} \sin \alpha$$

5. РАСЧЁТ СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЯ И АБСОЛЮТНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

1. В расчетную формулу (3) подставьте значения $\mu_0, \mu, \tilde{I}, \tilde{d}$ и $\tilde{\varphi}$ и рассчитайте среднее значение магнитной индукции $\tilde{B}_3$.
2. Для расчёта абсолютной погрешности определения B_3 произведите следующие математические операции:

- прологарифмируйте расчетную формулу (3);
- продифференцируйте полученное логарифмическое выражение и замените знаки дифференциалов d на знаки абсолютной погрешности Δ ;
- замените в полученной формуле для расчета погрешности определения индукции магнитного поля Земли знаки «минус» на знаки «плюс» так, чтобы получить максимальную абсолютную погрешность;
- абсолютную погрешность измерения силы тока амперметром с приведенной погрешностью 1.0 рассчитайте по формуле:

$$\pm \Delta I = \gamma \frac{I_N}{100}$$

где: γ – приведенная погрешность амперметра;

I_N – нормирующее значение шкалы амперметра.

- подставьте числовые значения $I, \Delta I, d, \Delta d, \varphi$, и $\Delta \varphi = 1^\circ = 0,0174$ рад в формулу абсолютной погрешности определения индукции магнитного поля Земли и вычислите ΔB_3 .
3. Окончательный результат определения горизонтальной составляющей индукции B_3 магнитного поля Земли запишите в виде:

$$B_3 = (\tilde{B}_3 \pm \Delta B_3) T,$$

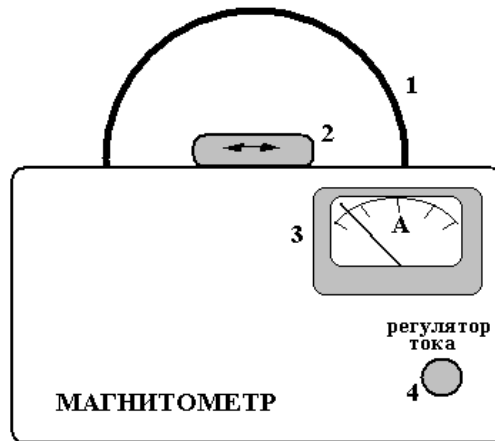
где: $\tilde{B}_3$ – среднее значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли;

ΔB_3 – абсолютная погрешность определения магнитной индукции.

Контрольные вопросы для самостоятельной подготовки

1. Назовите известные Вам источники магнитного поля?
2. Магнитные поля каких источников будут действовать на магнитную стрелку?
3. Как будут расположены по отношению друг к другу вектора $\vec{B}_3$ и $\vec{B}_K$?
4. Каково будет направление вектора $\vec{B}_K$ при протекании тока по часовой стрелке по катушке при данном расположении лабораторной установки?

$$B_K = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0 \mu I dl}{4\pi r^2} \sin \alpha$$



5. Запишите расчётную формулу для определения горизонтальной составляющей индукции B_z магнитного поля Земли.
6. Какие величины необходимы для определения среднего значения $\tilde{B}_z$ горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли?
7. Используя метод логарифмического дифференцирования, выведите формулу для расчёта абсолютной погрешности измерения ΔB_z горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли?