
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. С помощью катушек Гельмгольца определить горизонтальную составляющую вектора индукции магнитного поля Земли.
2. Измерить наклонение и вертикальную составляющую вектора индукции магнитного поля Земли.
3. Расчёт вектора индукции магнитного поля Земли.

1. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

2. Савельев И.В. Курс физики: учеб. пособие для студентов вузов. - [В 3-х т.]. - Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - М.: Наука, 1989. - 496 с.
3. Трофимова Т.И. Курс физики.- М.: Высш. шк., 1998.- 542 с.

4. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Земля имеет форму эллипсоида вращения. Если пренебречь ее сплюснутостью (разность радиусов на экваторе и полюсах составляет 21 км), Землю можно принять за шар. Вращающийся земной шар намагничен и обладает магнитным полем. Магнитное поле шара практически совпадает с полем стержнеобразного магнита или диполя, расположенного в его центре. Поэтому Землю можно рассматривать как гигантский магнит, который смещен примерно на 400 км от центра планеты в сторону Тихого океана и наклонен к оси вращения Земли приблизительно под углом 12° . Точки на поверхности Земли, в которые проектируется ось такого диполя, называются геомагнитными полюсами. Следует иметь в виду, что в северном полушарии расположен южный магнитный полюс, а в южном - северный.

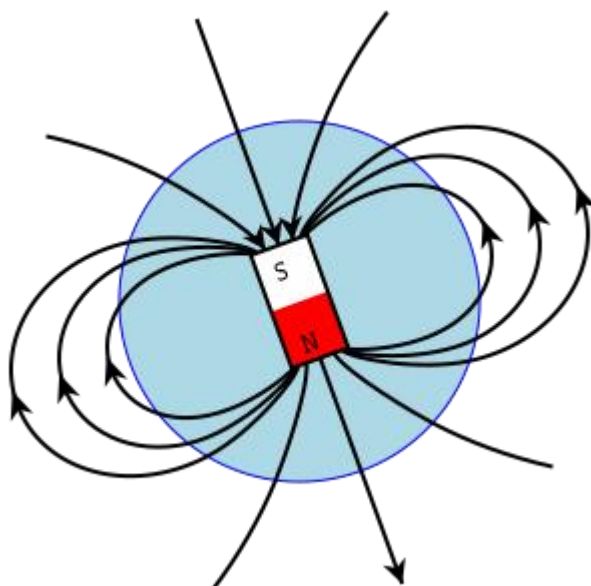


Рисунок 1. Схематическое изображение магнитного поля Земли.

Если подвесить магнитную стрелку так, чтобы она могла свободно вращаться вокруг центра тяжести, то она установится по направлению касательной к силовой линии магнитного поля в данной точке Земли. Геомагнитные полюса не совпадают с географическими. Угол между географическим и магнитным меридианами в любой точке планеты (кроме полюсов) называется *магнитным склонением* (β). Если стрелка компаса отклоняется к востоку, то склонение считается положительным, если к западу, то отрицательным.

Стрелка, укрепленная на вертикальной оси, расположенной перпендикулярно к географическому меридиану, наклоняется под некоторым углом к горизонтальной поверхности. Этот угол получил название *магнитного наклона* (α). Оно положительно, если северный конец стрелки направлен внутрь Земли, и наоборот. Вектор индукции магнитного поля Земли \vec{B} можно разложить на две составляющие: горизонтальную B_h и вертикальную B_v . Если магнитная стрелка может вращаться только вокруг вертикальной оси, то она будет устанавливаться только под действием горизонтальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли в плоскости магнитного меридиана. Горизонтальная составляющая B_h , магнитное склонение (β) и наклонение (α) называются *элементами земного магнетизма*.

Установлено, что все показатели земного магнитного поля монотонно изменяются из года в год, из столетия в столетие. Однако магнитное поле Земли может изменяться и за короткое время: от нескольких дней до долей секунды.

5. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

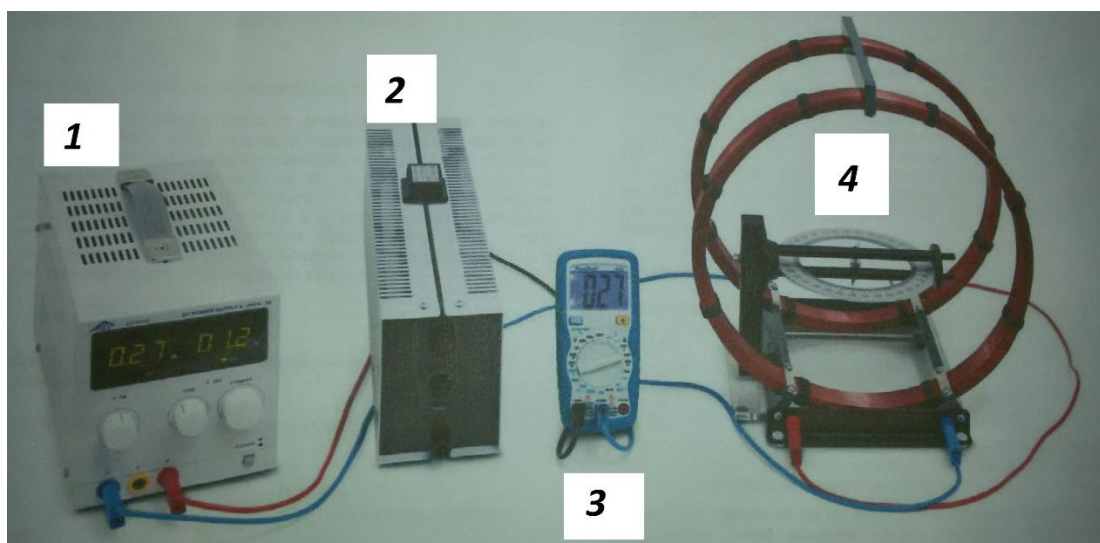


Рисунок 2. Установка.

1. Источник питания постоянного тока.
2. Реостат.
3. Цифровой мультиметр.
4. Катушки Гельмгольца с компасом.

Катушки Гельмгольца устанавливаются таким образом, чтобы создаваемое ими магнитное поле в центре имело направление вектора индукции перпендикулярное горизонтальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли (которое совпадает с направлением стрелки компаса при отключенном токе через катушки).

Положение стрелки компаса зависит от суперпозиции (векторной суммы) горизонтальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли (B_h) и вектора индукции магнитного поля, создаваемого током, протекающим в катушках Гельмгольца (B_{HH}) (рис. 3.).

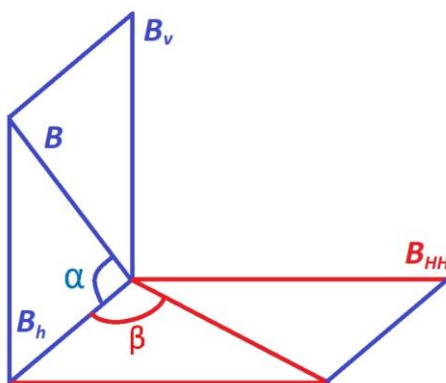


Рисунок 3. Проекция вектора индукции магнитного поля Земли (B) в суперпозиции с вектором индукции магнитного поля, создаваемого током, протекающим в катушках Гельмгольца (B_{HH}).

Значения вектора магнитной индукции (B_{HH}), создаваемого катушками Гельмгольца:

$$B_{HH} = \sqrt{\left(\frac{4}{5}\right)^3} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot I \cdot \frac{N}{R}.$$

Измерив с помощью компаса склонение и наклонение, можно рассчитать все составляющие вектора индукции магнитного поля Земли:

$$B_h = B_{HH} \cdot \operatorname{tg}(\beta),$$

$$B_v = \langle B_h \rangle \cdot \operatorname{tg}(\langle \alpha \rangle),$$

$$B = \sqrt{(\langle B_h \rangle)^2 + B_v^2}.$$

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Поверните маховик на приборе таким образом, чтобы плоскость кольцевой шкалы и стрелка компаса были ориентированы параллельно рабочей поверхности.

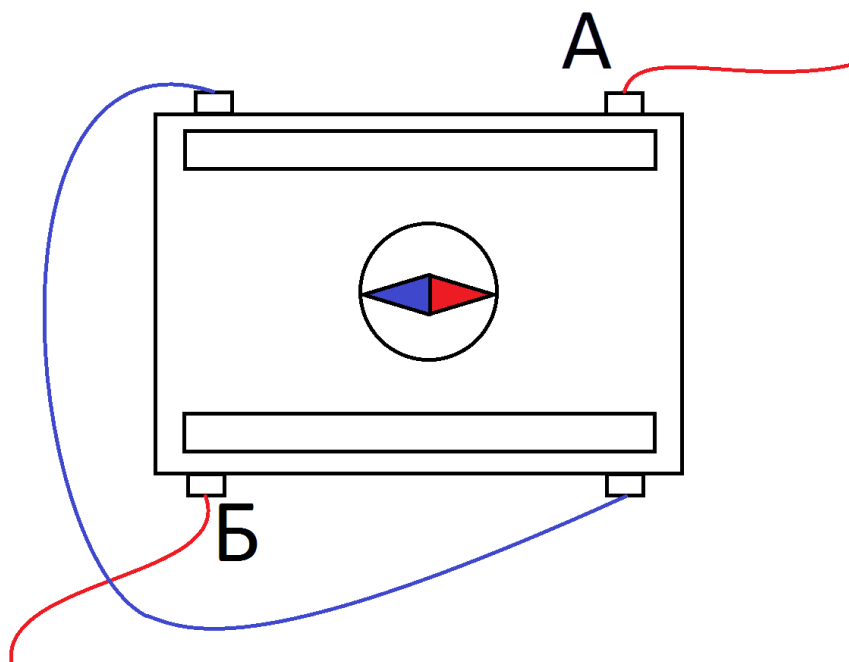
2. Поверните прибор так, чтобы метка 0° совпала с направлением стрелки компаса.

3. Включите источник питания.

4. Вращая ручки источника питания ($0 \dots 5A$; FINE и COARSE), а также меня значение сопротивления на реостате добейтесь отклонения стрелки компаса на отметки 30° и 45° и запишите данные силы тока (I , A), соответствующие этим отклонениям в **таблицу 1** (рабочий диапазон силы тока от 5 до 50 мА).

Таблица 1.

$\beta, ^\circ$	I_i , мА	B_{HHi} , мкТл	B_{hi} , мкТл	$\langle B_h \rangle$, мкТл	ΔB_{hi} , мкТл	$\langle \Delta B_{hi} \rangle$, мкТл
30						
45						
-30						
-45						



5. Рассчитайте числовые значения вектора магнитной индукции (B_{HH} , Тл), создаваемого катушками Гельмгольца в области компаса по формуле:

$$B_{HH} = \sqrt{\left(\frac{4}{5}\right)^3} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot I \cdot \frac{N}{R}, \quad (6.1)$$

где $N = 124$ – число витков; $R = 0,1475$ м – радиус катушек Гельмгольца.

6. Рассчитайте числовые значения горизонтальной составляющей вектора магнитной индукции (B_h , Тл), создаваемого катушками Гельмгольца в области компаса по формуле:

$$B_h = B_{HH} \cdot \operatorname{tg}(\beta). \quad (6.2)$$

7. Вычислите среднее значение горизонтальной составляющей вектора магнитной индукции ($\langle B_h \rangle$, Тл), создаваемого катушками Гельмгольца в области компаса по формуле:

$$\langle B_h \rangle = \frac{\sum_i B_{hi}}{n},$$

где n – число значений. И занесите значение в **таблицу 1**.

8. Выключите источник питания.

9. Поверните маховик на приборе таким образом, чтобы плоскость кольцевой шкалы и стрелка компаса были ориентированы параллельно рабочей поверхности.

10. Поверните прибор так, чтобы метка 0° совпала с направлением стрелки компаса.

11. Поверните маховик прибора так, чтобы плоскость кольцевой шкалы и стрелка компаса были ориентированы перпендикулярно рабочей поверхности.

12. Подождите, пока стрелка успокоится.

Таблица 2.

α_1	α_2	$\langle \alpha \rangle$	B_v , мкТл	B , мкТл

13. Снимите показания угла наклона α_1 с кольцевой шкалы и запишите значение в **таблицу 2**.

14. Поверните маховик на 180° вокруг горизонтальной оси (переверните).

15. Снимите показания угла наклона α_2 с кольцевой шкалы и запишите значение в **таблицу 2**.

16. Рассчитайте среднее значение наклона $\langle \alpha \rangle$ по формуле:

$$\langle \alpha \rangle = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}.$$

Запишите значение в **таблицу 2**.

17. Вычислите среднее значение вертикальной составляющей вектора магнитной индукции (B_v , Тл), создаваемого катушками Гельмгольца в области компаса по формуле:

$$B_v = \langle B_h \rangle \cdot \operatorname{tg}(\langle \alpha \rangle),$$

где B_v – вертикальная составляющая вектора индукции; B_h – горизонтальная; α – наклонение. И занесите значение в **таблицу 2**.

18. Вычислите общую величину вектора магнитной индукции (B , Тл), создаваемого катушками Гельмгольца в области компаса по формуле:

$$B = \sqrt{(\langle B_h \rangle)^2 + B_v^2},$$

полученное значение занесите в **таблицу 2**.

Контрольные вопросы

1. Что такое индукция магнитного поля? Единицы измерения.
2. Что такое напряжённость магнитного поля? Единицы измерения.
3. Что такое магнитный поток? Единицы измерения.
4. Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа. Рассчитайте индукцию в центре кругового витка с током.
5. В чём заключаются плюсы использования катушек Гельмгольца по сравнению с другими токопроводящими контурами для получения контролируемого магнитного поля?
6. Рассчитайте индукцию между катушками Гельмгольца.
7. Объясните методику выполнения работы.
8. Опишите магнитное поле Земли