

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Цель работы: опытным путем определить горизонтальную составляющую магнитного поля Земли.

Приборы и принадлежности:

Источник тока 12 В, двойной переключатель К, потенциометр R (до 1 А), буссоль, простейший тангенс-гальванометр.

Источник тока 12 В, двойной переключатель К, потенциометр, миллиамперметр, буссоль, простейший тангенс-гальванометр.

Основы теории. Методика выполнения эксперимента и описание установки

Земля представляет собой огромный шаровой магнит. На поверхности Земли и в точках пространства, окружающего Землю, обнаруживается действие магнитных сил. Это говорит о том, что в пространстве вокруг Земли создается магнитное поле. Северный магнитный полюс находится на южном географическом, и наоборот.

В настоящее время существует две группы теорий земного магнетизма.

Теории первой группы объясняют наличие магнитного поля электрическими токами, циркулирующими на больших глубинах в жидком ядре Земли.

Более чем на 90 % оно состоит из поля, источник которого находится внутри Земли, в жидком внешнем ядре, – эта часть называется главным, основным или нормальным полем. Оно близко к полю магнитного диполя, то есть имеет такой вид, как будто земной шар представляет собой полосовой магнит с осью, направленной приблизительно с севера на юг. Центр этого диполя смещен относительно центра Земли, а ось наклонена к оси вращения Земли на угол около 10° . На такой же угол отстоят от соответствующих географических полюсов геомагнитные полюса – точки пересечения оси диполя с поверхностью Земли.

Глобальные модели магнитного поля Земли, такие как Международное геомагнитное аналитическое поле (International Geomagnetic Reference Field, IGRF) и Всемирная магнитная модель (World Magnetic Model, WMM), создаются различными международными геофизическими организациями, и каждые 5 лет утверждаются и публикуются

обновлённые данные о состоянии геомагнитного поля и его параметрах. Так, согласно модели WMM2015, Северный геомагнитный полюс (по сути это южный полюс магнита) имеет координаты $80,37^\circ$ с. ш. и $72,62^\circ$ з. д., Южный геомагнитный полюс – $80,37^\circ$ ю. ш., $107,38^\circ$ в. д., наклон оси диполя относительно оси вращения Земли – $9,63^\circ$.

В среднем интенсивность магнитного поля Земли колеблется от 25 до 65 мкТл ($0,25\text{--}0,65$ Гс) и сильно зависит от географического положения. Это соответствует средней напряжённости поля около $0,5$ Э (40 А/м). На магнитном экваторе её величина около $0,34$ Э, у магнитных полюсов – около $0,66$ Э. В некоторых районах (магнитных аномалий) напряжённость резко возрастает: в районе Курской магнитной аномалии она достигает 2 Э.

Магнитный дипольный момент Земли на 2015 г. составлял $7,72 \cdot 10^{25}$ Гс·см³ (или $7,72 \cdot 10^{22}$ А·м²), уменьшаясь в среднем за последние десятилетия на $0,007 \cdot 10^{25}$ Гс·см³ в год.

На сегодняшний день общепринятым наиболее вероятным объяснением происхождения магнитного поля Земли и других планет является самовозбуждающийся динамо-механизм, основанный на генерации электрического тока в проводнике при его движении в магнитном поле, порождаемом и усиливается самими этими токами. Необходимые условия создаются в ядре Земли: в жидком внешнем ядре, состоящем в основном из железа при температуре порядка $4\text{--}6$ тыс. кельвин, которое отлично проводит ток, создаются конвективные потоки, отводящие от твёрдого внутреннего ядра тепло (генерируемое благодаря распаду радиоактивных элементов либо освобождению скрытой теплоты при затвердевании вещества на границе между внутренним и внешним ядром по мере постепенного остывания планеты). Силы Кориолиса закручивают эти потоки в характерные спирали, образующие так называемые столбы Тейлора. Благодаря трению слоёв они приобретают электрический заряд, формируя контурные токи. Таким образом, создаётся система токов, циркулирующих по проводящему контуру в движущихся в (изначально присутствующем, пусть и очень слабом) магнитном поле проводниках, как в диске Фарадея. Она создает магнитное поле, которое при благоприятной геометрии течений усиливает начальное поле, а это, в свою очередь, усиливает ток, и процесс усиления продолжается до тех пор, пока растущие с увеличением тока потери на джоулево тепло не уравновесят притоки энергии, поступающей за счет гидродинамических движений. Высказывались предположения, что динамо может возбуждаться за счёт прецессии или приливных сил, то есть что источником энергии является

вращение Земли, однако наиболее распространена и разработана гипотеза о том, что это всё же именно термохимическая конвекция.

Теории второй группы основываются на предположениях, что земная кора содержит в разных участках различное количество магнитных пород.

Нужно отметить, что происхождение магнитного поля Земли до сих пор еще не выяснено.

Существование магнитного поля в любой точке Земли можно установить с помощью магнитной стрелки. Если подвесить магнитную стрелку на нити так, чтобы точка подвеса совпадала с центром тяжести стрелки, то стрелка установится по направлению касательной к силовой линии магнитного поля Земли.

В северном полушарии южный конец будет наклонен к Земле и стрелка составит с горизонтом угол наклона θ . Так как магнитные полюсы не совпадают с географическими, то стрелка будет отклонена от географического меридиана. Угол, который образует магнитный меридиан с географическим, называется магнитным склонением.

Вектор $\vec{B}$ полной индукции магнитного поля Земли можно разложить на две составляющие: горизонтальную $\vec{B}_H$ и вертикальную $\vec{B}_B$.

Величина проекции индукции магнитного поля на горизонтальную плоскость называется горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Значения углов склонения и наклона, а также горизонтальной составляющей дадут возможность определить величину и направление полной индукции магнитного поля Земли в данной точке.

Для определения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли используется прибор магнитоэлектрической системы, который называется тангенс-гальванометр. Он состоит из нескольких витков кругового проводника, в центре которого расположена магнитная стрелка, поворачивающаяся вокруг вертикальной оси. Стрелка должна быть настолько малой, чтобы индукцию магнитного поля витков кругового тока можно было считать постоянной в той области, где находится стрелка, и равной индукции в центре витков. Индукция магнитного поля в центре витков катушки определяется по формуле

$$B_K = \frac{\mu_0 IN}{d}, \quad (4.1)$$

где μ_0 – магнитная постоянная ($4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м), I – сила тока, N – число витков проводника, d – диаметр катушки.

Для определения горизонтальной составляющей необходимо совместить плоскость, в которой лежат витки катушки тангенс-гальванометра, с плоскостью магнитного меридиана. В этом случае при пропускании тока по катушке тангенс-гальванометра в двух противоположных направлениях магнитная стрелка должна отклоняться при смене направления силы тока на одинаковые углы от плоскости магнитного меридиана.

На магнитную стрелку действуют два взаимно перпендикулярных магнитных поля: горизонтальная составляющая магнитного поля Земли $\vec{B}_Г$ и магнитное поле тока, протекающего в катушке $\vec{B}_К$ (рис. 4.1). Индукции этих полей взаимно перпендикулярны.

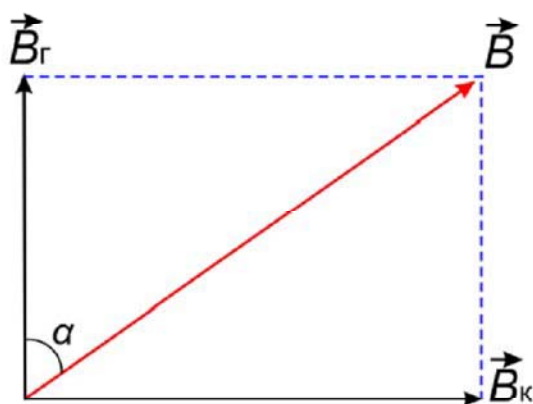


Рис. 4.1. Результат суперпозиции магнитных полей

Из (рис. 4.1) следует, что

$$\frac{B_К}{B_Г} = \operatorname{tg} \alpha \quad \text{или} \quad B_Г = \frac{B_К}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (4.2)$$

Произведя подстановку формулы (4.1) в (4.2), получим

$$B_Г = \frac{\mu_0 I N}{d \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (4.3)$$

Примечание. При расчете горизонтальной составляющей магнитного поля Земли по формуле (4.3) значение угла отклонения магнитной стрелки α необходимо заменить на $\langle \alpha \rangle$.

Выполнение работы

1. Запустите программу. Запишите значения диаметра катушки d и количество витков N , указанных на рабочем окне программы в табл. 4.1.

Приборы и принадлежности: источник тока 12 В, двойной переключатель, ключ K , потенциометр R , амперметр (до 1 А), bussоль, простейший тангенс-гальванометр

Порядок выполнения

1. Изучить схему, изображенную на рис. 4.2.

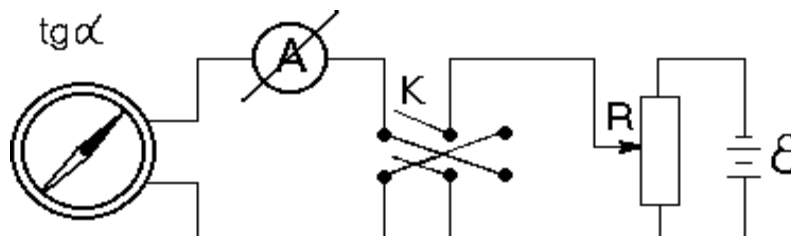


Рис. 4.2. Электрическая схема к лабораторной установке

2. Запишите в таблицу значения диаметра катушки $d = 0.46\text{м}$ и количество витков катушки $N = 100$.
3. Установите ключ K в крайнее левое положение. Перемещением ползунка реостата установите некоторое значение силы тока I (определяется с помощью амперметра) и определите при этом значение угла отклонения магнитной стрелки α_1 . Полученные данные запишите в таблицу 1.
4. Не изменяя значения силы тока I с помощью ключа K поменяйте направление тока, протекающего через катушку установив положение ключа K в крайнее правое. Определите значение угла отклонения магнитной стрелки α_2 . Полученное значение запишите в таблицу 1.
5. Выполнить измерения для трех различных значений силы тока.
6. По формуле (4.3) рассчитать индукцию магнитного поля в каждом опыте и ее среднее значение.
7. Определить погрешность измерения, используя формулу (3).

Таблица 1

Табличные данные и результаты измерений

Номер опыта	d , м	N	I , А	α_1	α_2	$\langle \alpha \rangle$	B , Тл	$\langle B \rangle$, Тл
1								
2								
3								

Контрольные вопросы

1. Физический смысл магнитной индукции как характеристики магнитного поля. Единица ее измерения в системе СИ.
2. Дать понятие горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.
3. Сформулировать закон Био–Савара–Лапласа.
4. Вывести формулу для расчета горизонтальной составляющей магнитного поля Земли, основываясь на принципе действия тангенс-гальванометра.