

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕКТОРА ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Приборы и принадлежности: тангенс-гальванометр, амперметр, ключ, реостат, двойной переключатель,

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

1. Краткая теория

Магнитное поле в каждой точке пространства характеризуется *вектором магнитной индукции* \mathbf{B} . Графически магнитное поле можно изобразить, если ввести представление о линиях магнитной индукции (иногда их называют *силовыми линиями магнитного поля*). Линии магнитной индукции – воображаемые линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора \mathbf{B} в этих точках поля. Линии магнитной индукции замкнутые (в отличие от линий напряженности электрического поля).

На электрический заряд величиной q , движущийся со скоростью \mathbf{v} в магнитном поле с индукцией \mathbf{B} , действует *сила Лоренца*, модуль которой равен

$$F_l = qvB \sin \alpha ,$$

где α – угол между векторами \mathbf{v} и \mathbf{B} . Направление силы \mathbf{F}_l определяется правилом левой руки: расположим руку так, чтобы линии магнитной индукции (т.е. вектор \mathbf{B}) входили в ладонь, а направление четырех пальцев совпало с направлением вектора скорости заряда. Тогда направление отогнутого в сторону большого пальца совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд (на отрицательный заряд действует сила противоположного направления).

На прямой проводник с силой тока I и длиной l , помещенный в однородное магнитное поле с индукцией \mathbf{B} , действует *сила Ампера*, направление которой определяется правилом левой руки, а модуль равен

$$F_A = IlB \sin \alpha ,$$

где α – угол между вектором \mathbf{B} и направлением тока в проводнике.

На участок длиной l одного из двух параллельных прямых бесконечных проводников, расположенных на расстоянии R друг от друга, по которым текут токи с силами токов I_1 и I_2 , действует сила притяжения (отталкивания) при одинаковых (противоположных) направлениях токов, модуль которой равен

$$F = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1I_2}{R} l,$$

где μ_0 – магнитная постоянная в системе единиц СИ, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Тл·м/А (Гн/м), μ – относительная магнитная проницаемость однородной изотропной среды, в которой находятся проводники с током.

Направление тока в проводе и направление линий магнитной индукции связаны правилом правого винта. Величина магнитной индукции поля, созданного током I , протекающим по тонкому прямому бесконечному проводнику на расстоянии r от проводника

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$

Величина магнитной индукции в центре кольца радиуса R , по которому протекает ток I ,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}.$$

Как известно, Земля обладает магнитным полем. Магнитное поле Земли, искривляющее траекторию заряженных частиц, предохраняет ее от "солнечного ветра" - мощного потока заряженных частиц, испускаемых Солнцем.

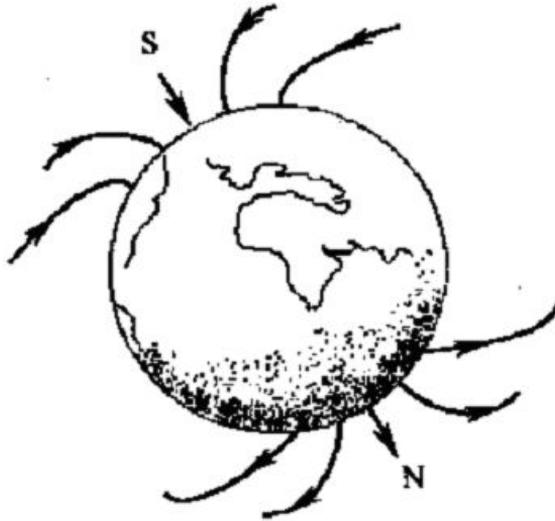


Рис. 1

Силовые линии магнитного поля Земли \mathbf{B}_3 изображены на рис.1.

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 и установится по направлению касательной к силовой линии магнитного поля Земли.

Следует иметь в виду, что магнитные полюса Земли не совпадают с ее географическими полюсами. Географические полюса Земли определяются ее осью вращения, тогда как магнитные полюса Земли - это две точки на ее поверхности, в которых \mathbf{B}_3 - вертикально. В связи с этим плоскость магнитного меридиана не совпадает с плоскостью географического меридиана. Под плоскостью магнитного меридиана, в какой-нибудь точке на земной поверхности, понимают плоскость, проходящую через эту точку и магнитные полюса Земли. Механическое действие вертикальной составляющей поля будет уравниваться реакцией опоры и нас в дальнейшем интересовать не будет.

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.

Описание экспериментальной установки

Способность магнитной стрелки (лежащей в горизонтальной плоскости) отклоняться под действием горизонтальной составляющей $\mathbf{B}_{3Г}$ магнитного поля Земли используется в приборе, называемом тангенс–гальванометр, который представляет собой плоскую вертикальную катушку большого радиуса R с некоторым числом витков N провода. В центре катушки установлена геодезическая буссоль. Магнитная стрелка буссоли может свободно вращаться вокруг вертикальной оси. Концы стрелки перемещаются по шкале, разделенной на градусы. Когда тока в катушке нет, магнитная стрелка буссоли направлена вдоль магнитного меридиана Земли.

Когда через катушку тангенс–гальванометра пропустить ток, то магнитная стрелка повернется на некоторый угол α . Это объясняется тем, что на магнитную стрелку буссоли действуют два поля: магнитное поле Земли и магнитное поле тока в катушке тангенс–гальванометра. Под действием этих полей магнитная стрелка займет положение равновесия (рис. 2), при котором ось стрелки будет совпадать с вектором \mathbf{B} - векторной суммой $\mathbf{B}_{3Г}$ и \mathbf{B}_K (поле катушки)

Из треугольника на рис.2 имеем

$$B_{3Г} = B_K / \operatorname{tg}\alpha$$

С другой стороны индукция магнитного поля тока в центре витков катушки

$$B_K = \mu\mu_0 \frac{NI}{2R},$$

где I - сила тока в катушке, R - радиус витков, N - число витков катушки, μ - относительная магнитная проницаемость воздуха (практически равна 1), μ_0 - магнитная постоянная:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Тл}\cdot\text{м/А.}$$

В результате

$$B_{3Г} = \mu\mu_0 \frac{NI}{2R \operatorname{tg}\alpha}.$$

(1)

Формула (1) является расчетной

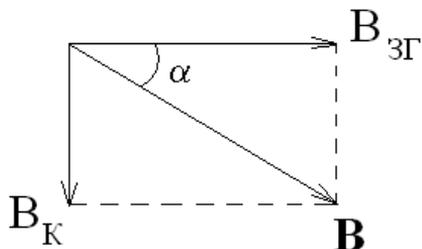


Рис. 2

Для измерения используют схему:

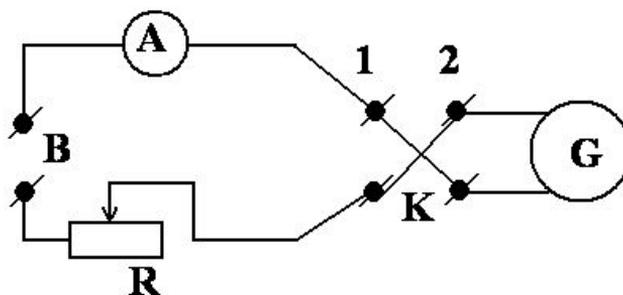


Рис. 3

G - тангенс-гальванометр, R - реостат; K - ключ; A - амперметр; B - источник тока

Порядок выполнения работы

1. Собрать установку по схеме рис. 3. Число витков катушки и радиус витков указаны на установке.
2. Установить плоскость витков катушки тангенс-гальванометра в плоскости магнитного меридиана Земли.
3. Включить установку. Перемещая ползунок реостата, установить некоторое значение силы тока I . Выждав, пока магнитная стрелка

буссоли придет в равновесие, отсчитать угол отклонения стрелки из первоначального положения равновесия α_+ . Отсчет производят по концу стрелки, указывающему на север. Результат занести в таблицу.

4. Не меняя величину тока в цепи, с помощью переключателя, измерить угол отклонения магнитной стрелки α_- .
5. Для каждой силы тока найти и занести в таблицу среднее значение угла отклонения стрелки

$$\alpha = \frac{\alpha_+ + \alpha_-}{2}$$

6. Повторить измерения еще для двух значений тока, указанных преподавателем.

Для каждой силы тока по формуле (1) рассчитать $B_{3Г}$, используя соответствующее значение угла отклонения α .

7. Найти среднее значение горизонтальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли:

№	I	α_+	α_-	α	$tg\alpha$	$B_{3Г}$	$\overline{B}_{3Г}$
1							
2							
3							

Контрольные вопросы

1. Что характеризует вектор индукции магнитного поля Земли?
2. Как можно определить горизонтальную составляющую вектора индукции магнитного поля Земли?
3. Поясните принцип действия тангенс–гальванометра.
4. Как ведет себя магнитная стрелка в магнитном поле?
5. Почему следует ориентировать катушку тангенс–гальванометра в направлении магнитного меридиана?
6. В каких единицах измеряется магнитная индукция?
7. Чему равна напряженность магнитного поля в центре кругового тока?