

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.08

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВЕКТОРА ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Цель работы

Целью работы является изучение законов магнетизма, ознакомление с одним из методов определения характеристик магнитного поля Земли и измерение с помощью прибора (*тангенс-гальванометра*) горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

Краткая теория

Земля обладает собственным магнитным полем и в любой точке окружающего ее пространства обнаруживается действие магнитных сил. Вблизи северного географического полюса Земли располагается южный магнитный полюс S , а вблизи южного географического – северный магнитный N . У магнитных полюсов линии индукции поля направлены практически вертикально, а на магнитном экваторе – горизонтально. В настоящее время природа земного магнитного поля до конца не выяснена, существует ряд гипотез, объясняющих существование магнитного поля Земли. Одна из них объясняет магнетизм Земли электрическими токами, циркулирующими на больших глубинах по поверхности ее жидкого ядра. Другие связывают магнетизм Земли с наличием в земной коре магнитных пород.

Магнитное поле Земли в любой произвольной точке может быть обнаружено с помощью магнитной стрелки, подвешенной на нити, закрепленной в центре тяжести стрелки. При отсутствии других магнитных полей, стрелка устанавливается по касательной к силовой линии магнитного поля Земли под некоторым углом к поверхности Земли. При этом стрелка показывает направление вектора магнитной индукции в данной точке. Угол, который образует магнитная стрелка с горизонтальной поверхностью, называется *углом наклоения*. Составляющая вектора магнитной индукции в горизонтальной плоскости называется горизонтальной составляющей магнитного поля Земли $\vec{B}_Г$. Вертикальная плоскость, проходящая через вектор индукции, называется плоскостью магнитного мери-

диана. Угол между плоскостями магнитного и географического меридианов называется *углом склонения*.

Угол наклона, угол склонения и горизонтальная составляющая являются общепринятыми характеристиками магнитного поля Земли, поскольку позволяют определить величину и направление вектора индукции земного магнитного поля в каждой точке ее поверхности.

Зависимость характеристик магнитного поля Земли от географических координат пункта наблюдения изучается при магнитной разведке с целью поиска полезных ископаемых. Поиск базируется на том, что в суммарное магнитное поле в месте наблюдения, кроме основного магнитного поля, обусловленного процессами в ядре и мантии Земли, вносят вклад магнитные поля, определяемые магнитными свойствами пород, входящих в состав земной коры.

Для определения параметров земного магнетизма в геофизической практике применяют различного рода магнитометры.

Для грубого определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли может быть использован прибор, называемый *тангенс–гальванометром*. Он представляет собой большое вертикальное кольцо из немагнитного материала (дерево, медь, алюминий), на которое намотано несколько десятков витков медной проволоки. В центре кольца горизонтально закреплен компас, стрелка которого может поворачиваться только в горизонтальной плоскости. При отсутствии тока в кольце, стрелка устанавливается в плоскости магнитного меридиана в направлении горизонтальной составляющей магнитного поля Земли $\vec{B}_Г$ в точке наблюдения. Поворотом кольца вокруг вертикальной оси можно расположить его плоскость вдоль оси магнитной стрелки компаса, то есть совместить плоскость кольца с плоскостью магнитного меридиана.

При пропускании тока по виткам кольца тангенс–гальванометра, в соответствии с законом Био–Савара–Лапласа, возникает магнитное поле, вектор индукции которого $\vec{B}_К$ направлен перпендикулярно плоскости кольца и, следовательно, вектору индукции магнитного поля Земли $\vec{B}_Г$ (рис.1).

Величина индукции магнитного поля кольца в его центре в соответствии с законом Био–Савара–Лапласа равна

$$B_K = \mu\mu_0 \frac{IN}{2r}, \quad (2.08.1)$$

где I – сила тока в обмотке кольца; r – радиус кольца; μ – относительная магнитная проницаемость воздуха, которую можно считать равной единице; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная

При пропускании тока через кольцо стрелка отклоняется от плоскости кольца и устанавливается в направлении вектора индукции суммарного магнитного поля. Тогда

$$B_G = \frac{B_K}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (2.08.2)$$

где α – угол отклонения стрелки от плоскости кольца.

С учетом формулы (2.08.1), получаем:

$$B_G = \frac{\mu\mu_0 IN}{2r \operatorname{tg} \alpha}. \quad (2.08.3)$$

Если в данной точке Земли известно значение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли \vec{B}_G , то, измерив угол α , можно определить силу тока в витках. Таким образом, тангенс-гальванометр позволяет измерять силу тока, что отражено в его названии.

Из формулы (2.08.3) выражаем силу тока I :

$$I = \frac{2rB}{\mu\mu_0 N} \cdot \operatorname{tg} \alpha = C \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.08.4)$$

Величина C называется постоянной тангенс-гальванометра и численно равна силе тока в витках, вызывающей отклонение на 45° .

Для определения горизонтальной составляющей земного магнитного поля по формуле (2.08.3) необходимо знать силу тока I , но непосредственные измерения силы тока можно не проводить, заменив их измерением других величин.

От источника тока с известной электродвижущей силой E пропускают по виткам прибора два различных тока I_1 и I_2 при раз-

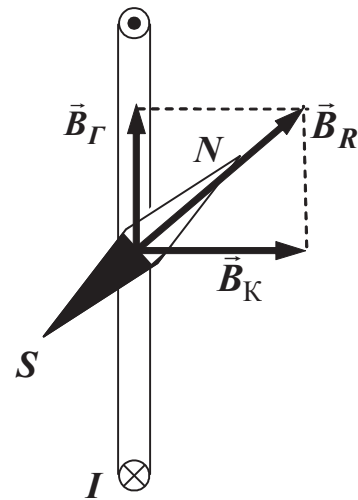


Рис. 1. Тангенс – гальванометр

ных сопротивлений цепи и получают разные углы отклонения магнитной стрелки α_1 и α_2 :

$$I_1 = C \operatorname{tg} \alpha_1 \quad I_2 = C \operatorname{tg} \alpha_2. \quad (2.08.5)$$

С другой стороны, по закону Ома можно записать:

$$I_1 = \frac{E}{R_0 + R_{M1}}, \quad I_2 = \frac{E}{R_0 + R_{M2}}, \quad (2.08.6)$$

где R_{M1} и R_{M2} – известные сопротивления, устанавливаемые на магазине сопротивлений,

R_0 – общая сумма неизвестных сопротивлений в цепи тангенс-гальванометра: сопротивления витков обмотки тангенс-гальванометра, соединительных проводов и внутреннего сопротивления источника тока.

Из уравнений (2.08.5) и (2.08.6) можно получить:

$$\frac{R_0 + R_{M1}}{R_0 + R_{M2}} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2}. \quad (2.08.7)$$

Решая уравнение (2.08.7) относительно R_0 и подставляя его в уравнение (2.08.6), выражают силу тока I_1 (или I_2) через тангенсы углов α_1 и α_2 и сопротивления R_{M1} и R_{M2} . Полученное выражение для I_1 (или I_2) в свою очередь подставляют в формулы (2.08.3) и (2.08.4) и получают для величин B и C окончательные формулы:

$$B_{\Gamma} = \frac{\mu\mu_0 N E (\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1)}{2r(R_{M1} - R_{M2}) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2}; \quad (2.08.8)$$

$$C = \frac{E (\operatorname{tg} \alpha_2 - \operatorname{tg} \alpha_1)}{(R_{M1} - R_{M2}) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2} = \frac{2r\bar{B}}{\mu\mu_0 N}. \quad (2.08.9)$$

Выполнение работы

Необходимые приборы лабораторный стенд, тангенс-гальванометр с компасом NS , магазин сопротивлений MS , вольтметр.

В лабораторном стенде собрана схема с источником тока E , переключателем направления тока S_1 , резистором $R_1 = 1$ Ом для измерения силы тока, протекающего в цепи, гнезд для подключения тангенс – гальванометра.

Рабочая схема опыта показана на рис. 2 и на панели стенда.

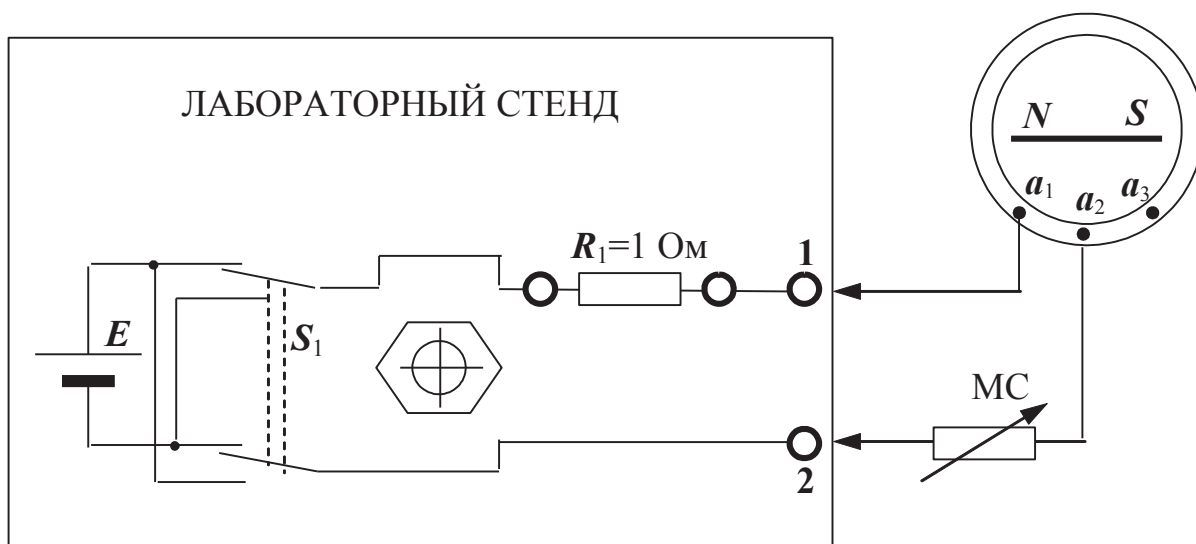


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Порядок выполнения работы

1. Включите лабораторный стенд и дайте прогреться ему 2 – 3 минуты.
2. Не подключая к стенду, установите плоскость кольца тангенс–гальванометра вдоль направления магнитной стрелки (в плоскости магнитного меридиана).
3. Сохраняя ориентацию тангенс – гальванометра, соедините клемму a_1 с гнездом 1 стенда (см. рис. 2). Одну из крайних клемм магазина сопротивлений подключите к клемме a_2 тангенс–гальванометра, другую крайнюю клемму магазина сопротивлений – к гнезду 2 стенда. Число витков N тангенс–гальванометра при таком включении (клеммы a_1, a_2) равно 100.
4. Переключателями магазина сопротивлений $\times 10$ и $\times 100$ подберите такое сопротивление R_1 , чтобы отклонение стрелки было в пределах $25^\circ - 30^\circ$.
Произведите отсчеты углов отклонения обоих концов стрелки α_1' и α_1'' (рис. 3, а). **ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ НА ТО, ЧТО ВСЕ УГЛЫ – ОСТРЫЕ!** Результаты запишите в табл. 8.1.
5. Переключателем S_1 измените направление тока в витках прибора и снова произведите отсчеты углов α_1''' и α_1'''' (рис. 3, а). Произведите отсчет сопротивления R_1 по магазину сопротивлений.
Найдите средние значения α_1 угла отклонения.

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_1' + \alpha_1'' + \alpha_1''' + \alpha_1''''}{4} \quad (2.08.10)$$

Таким образом, исключается погрешность, возникающая за счет возможного несовпадения оси стрелки с центром круга делений, и погрешность за счет неточной установки плоскости кольца тангенс–гальванометра в плоскости магнитного меридиана.

6. Подберите другое сопротивление R_2 магазина сопротивлений, для которого отклонение стрелки будет в пределах $40^\circ - 50^\circ$ и снова произведите отсчеты углов отклонения стрелки α_2' , α_2'' , α_2''' и α_2'''' для прямого и обратного направлений тока. Определите среднее значение угла отклонения α_2 (рис. 3, б).

7. Переключите тангенс–гальванометр на $N = 200$ витков (контакт магазина сопротивлений переключите с клеммы a_2 на a_3).

8. Повторите п. п. 4 – 6. Результаты запишите в табл. 8.1.

9. Измерьте цифровым вольтметром ЭДС источника питания E , подключив цифровой вольтметр к гнездам 1 и 2 на стенде (рис. 2).

10. Пользуясь формулой (2.08.8), по средним значениям углов отклонения стрелки α_1 и α_2 вычислите два значения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли B_H (для $N = 100$ витков и $N = 200$ витков).

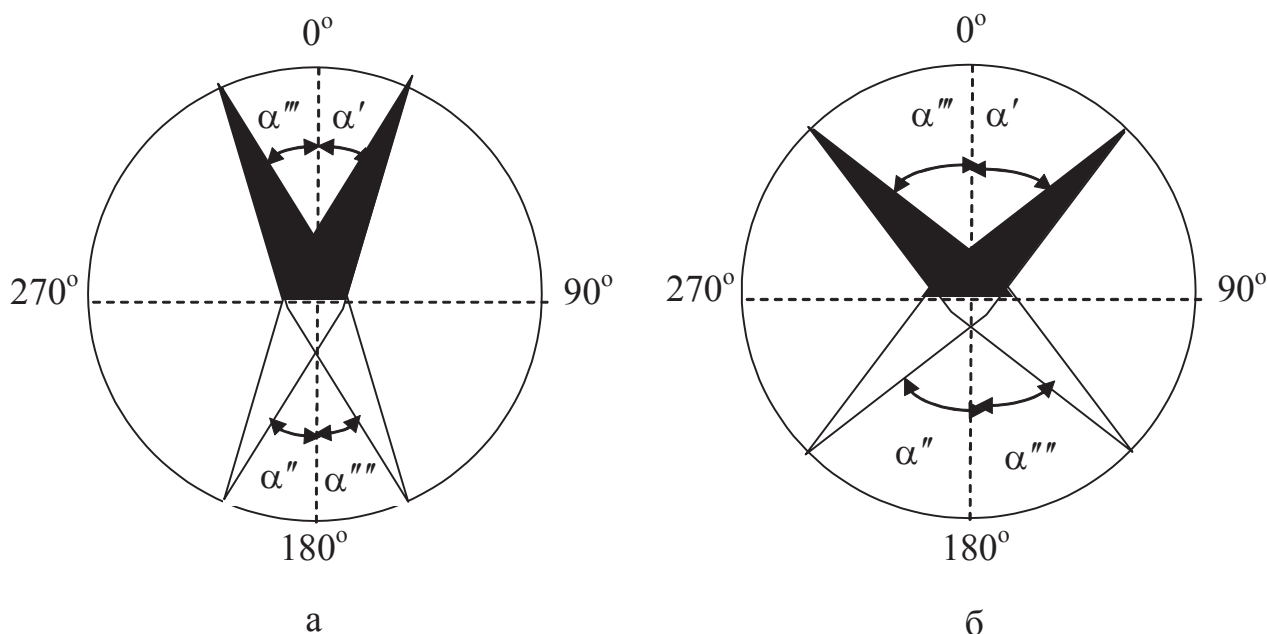


Рис. 3. Ориентация стрелки компаса при включении тангенс – гальванометра

Результаты измерений

Число витков N	R , Ом	Отклонение концов магнитной стрелки				Средние значения угла отклонения стрелки α
		Для прямого направления тока		Для обратного направления тока		
		северный α'	южный α''	северный α'''	южный α''''	
100	$R_{M1} =$					$\alpha_1 =$
100	$R_{M2} =$					$\alpha_2 =$
200	$R_{M1} =$					$\alpha_1 =$
200	$R_{M2} =$					$\alpha_2 =$
$E =$				$r = 0,2$ м		

Вычислите среднее значение \bar{B} , среднюю абсолютную погрешность $\Delta \bar{B}$.

Результат измерения B запишите в виде:

$$B = \bar{B} \pm \Delta \bar{B}. \quad (2.08.11)$$

По среднему значению \bar{B} по формуле (2.08.9) вычислите два значения постоянной тангенс–гальванометра C для $N = 100$ витков и $N = 200$ витков.

Значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли можно также рассчитать непосредственно по формуле (2.08.3), если определить силу тока в витках тангенс–гальванометра. Для этого требуется подключить цифровой вольтметр к резистору R_1 . Согласно закону Ома, сила тока будет численно равна напряжению на резисторе $R_1 = 1$ Ом (рис. 2).

Определив, таким образом, горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли, сравните ее значение со значением, полученным в (2.08.11).

Учитывая связь между индукцией и напряженностью магнитного поля

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}, \quad (2.08.12)$$

рассчитайте величину напряженности по формуле

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0}. \quad (2.08.13)$$

Сравните полученное значение с известным значением для г. Екатеринбурга $H = 12$ А/м.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каких единицах измеряется индукция магнитного поля?
2. Назовите три основных характеристики магнитного поля Земли.
3. Запишите формулу для индукции магнитного поля кругового тока.
4. Расскажите порядок выполнения работы.
5. Каков физический смысл постоянной тангенс – гальванометра?
6. Для какой цели измерение углов отклонения магнитной стрелки производится по обоим ее концам?
7. С какой целью измерения производятся при двух направлениях тока в катушке тангенс–гальванометра?
8. С какой целью измерения углов отклонения магнитной стрелки производятся при двух значениях силы тока?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Савельев И. В.* Курс общей физики. Т 2. М.: Наука, 1982. 176 – 180 с.
- Детлаф А. А., Яворский Б. М.* Курс физики. Т. 2. М.: Высшая школа, 1977. 376 с.
- Зисман Г. А., Тодес О. М.* Курс общей физики. Т. 2. М.: Наука, 1974. 336 с.