



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Брянский государственный технический университет

Кафедра «Общей физики»

ОТЧЕТ
по лабораторной работе № _____

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О)

Отметка о допуске: _____

Отметка о защите: _____

Брянск 20 ____

Лабораторная работа № 133

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Цель работы – определить горизонтальную составляющую магнитного поля Земли с помощью тангенс-гальванометра.

Приборы и принадлежности: тангенс-гальванометр, амперметр, реостат, источник постоянного тока, переключатель.

Теоретическое введение

Еще в 1600 г. английский ученый Уильям Гильберт впервые показал, что Земля является магнитом, ось которого не совпадает с осью вращения Земли. Следовательно, вокруг Земли, как и около любого магнита, существует магнитное поле. В первом приближении магнитное поле Земли представляет собой поле однородно намагниченного шара, или магнитного диполя (см. Рис. 1). Центр земного магнитного диполя смещен относительно центра Земли приблизительно на 430 км в сторону Тихого океана, а ось диполя, или магнитная ось Земли, наклонена к оси вращения нашей планеты на $11,5^\circ$. Геомагнитные полюсы располагаются в том месте, где земная магнитная ось пересекает поверхность Земли, и не совпадают с географическими полюсами. Магнитные силовые линии Земли выходят из северного магнитного полюса (N – на Рис. 1), расположенного в Южном полушарии, и входят в южный (S – на Рис. 1), находящейся в Северном полушарии.

В 1947 году советским физиком Я.И. Френкелем для объяснения причин возникновения магнитного поля была предложена гипотеза земного динамо, впоследствии развитая и существенно дополненная другими учеными и превратившаяся в стройную теорию происхождения геомагнитного поля. На сегодняшний день этот механизм наиболее полно описывает модель самовозбуждающегося динамо, «работающего» во внешнем ядре Земли. В частности, выяснилось, что внешняя оболочка ядра находится в жидком состоянии. Это обстоятельство, по мнению большинства ученых, и является ключом к пониманию природы земного магнетизма. Распад радиоактивных элементов внутри ядра приводит к разогреву его вещества, в то время как внешняя оболочка сохраняет несколько более низкую температуру. Естественно, при этом возникают конвективные потоки - холодные массы с периферии ядра стремятся опуститься к его центру, а им навстречу из глубины ядра поднимается горячее вещество. Вращение Земли по-разному сказывается на скорости движения масс в ядре. Причем на внешней оболочке вещество перемещается быстрее, чем в глубине ядра, поэтому жидкость, поднимающаяся от центра ядра, тормозит его периферийные слои, а нисходящие холодные потоки, напротив, сообщают ускорение внутренним слоям. За счет этого внутренняя часть ядра вращается быстрее внешней и в результате формируется подобие динамо-машины, в которой происходит самовозбуждение электрических токов, создающих магнитное поле нашей планеты.

Значение индукции магнитного поля Земли сравнительно невелико: значение индукции изменяется от $6,5 \times 10^{-5}$ Тл на полюсе до $3,3 \times 10^{-5}$ Тл на экваторе. Среднее значение напряженности составляет $5,02 \times 10^{-5}$ Тл. Отметим для сравнения, что в лабораторных условиях создаются магнитные поля с индукцией 1÷3 Тл и более. Большинство планет Солнечной системы в той или иной степени обладают магнитными полями. По величине поля на первом месте Юпитер и Сатурн, а за ними следуют Земля, Меркурий и Марс, причем по отношению к магнитному моменту Земли значение их моментов составляет 20 000, 500, 1, 3/5000 3/10000. Сильное магнитное поле у Солнца. С поверхности Солнца постоянно идет выброс высокоэнергичной плазмы (главным образом электронов, протонов и альфа-частиц), получившей название *солнечного ветра*. Скорость частиц солнечного ветра огромна - от 200 до 1000 км/с. Благодаря эффекту «вмороженности» магнитного поля в плазму, магнитное поле переносится солнечным ветром и оказывает существенное влияние на магнитное поле Земли.

Вектор индукции \vec{B} (а также и вектор напряженности) магнитного поля Земли в средних широтах направлен под некоторым углом к поверхности Земли и может быть разложен на две составляющие: горизонтальную \vec{B}_0 и вертикальную \vec{B}_\perp как видно из Рис. 1.

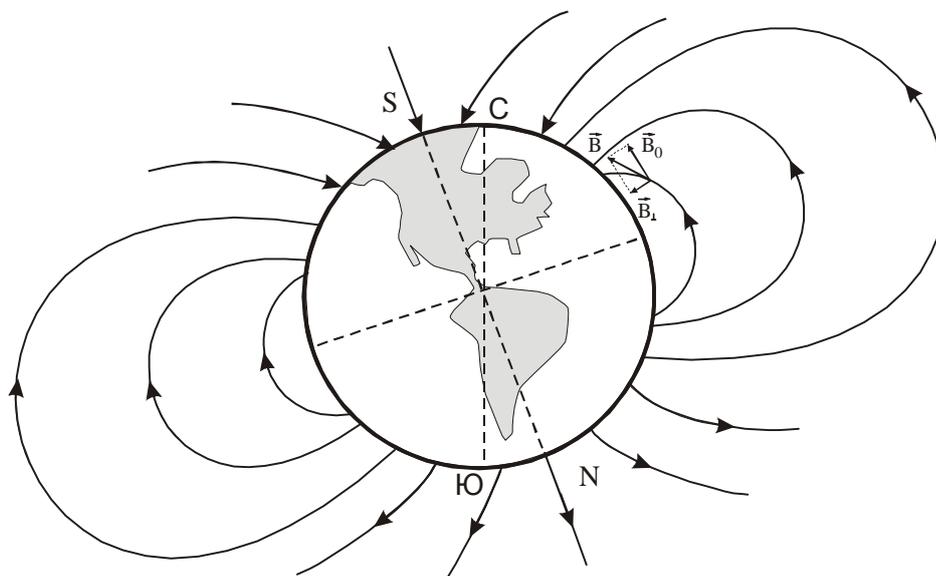


Рисунок 1. Схематическое изображение магнитного поля Земли.

Если использовать компас, то магнитное поле Земли будет действовать на намагниченную стрелку компаса, и она установится в плоскости магнитного меридиана по направлению вектора индукции \vec{B} .

В данной работе для измерения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли используется тангенс-гальванометр (см. Рис. 2).

Он состоит из катушки, в центре которой на вертикальной оси располагается магнитная стрелка. Стрелка может свободно вращаться внутри

компаса. По контуру компаса намечена круговая шкала, проградуированная в угловых градусах.



Рисунок 2. Тангенс-гальванометр.

При пропускании тока по виткам катушки тангенс-гальванометра вокруг них возникает магнитное поле, которое в центре будет направлено перпендикулярно плоскости витков катушки.

Тангенс-гальванометр расположим так, чтобы плоскость катушки по магнитной стрелке была установлена в плоскости магнитного меридиана. При протекании тока на намагниченную стрелку компаса будут действовать два взаимно перпендикулярных магнитных поля: горизонтальная составляющая \vec{B}_0 магнитного поля Земли и магнитное поле \vec{B} кругового тока.

Векторы магнитной индукции этих полей взаимно перпендикулярны. В соответствии с принципом суперпозиции магнитного поля стрелка установится вдоль равнодействующей индукции \vec{B}_1 , т.е. по диагонали параллелограмма, сторонами которого будут вектор магнитной индукции магнитного поля кругового тока \vec{B} и горизонтальная составляющая вектора магнитного поля Земли – \vec{B}_0 .

На рис. 3 изображено сечение катушки прибора горизонтальной плоскостью и указано направление векторов индукции катушки \vec{B} и горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли \vec{B}_0 .

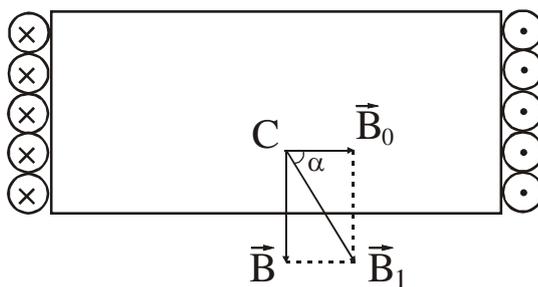


Рис. 3. Сечение катушки тангенс-гальванометра горизонтальной плоскостью.

Из рисунка 3 видно, что индукция катушки \vec{B} равна:

$$B = B_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha , \quad (1)$$

где α – угол между векторами \vec{B}_0 и \vec{B}_1 .

Индукция магнитного поля \vec{B} , создаваемая в точке C витками катушки в

соответствии с законом Био-Савара-Лапласа равна:

$$B = \mu_0 \mu \cdot \frac{I \cdot N}{2 \cdot R}, \quad (2)$$

где μ_0 – магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м); μ – относительная магнитная проницаемость, для воздуха $\mu \approx 1$; N – число витков катушки; I – сила тока; R – радиус витков катушки.

Приравняв выражения (1) и (2) получим формулу для расчета горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли:

$$B_0 = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2 \cdot R \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (3)$$

Экспериментальная часть

Описание установки

Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли определяется с помощью тангенс-гальванометра, который представляет собой плоскую вертикальную катушку радиуса R с некоторым числом витков N . В центре катушки в горизонтальной плоскости располагается компас с короткой намагниченной стрелкой, которая вращается вокруг вертикальной оси. Общий вид установки для измерения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли показан на Рисунке 4.

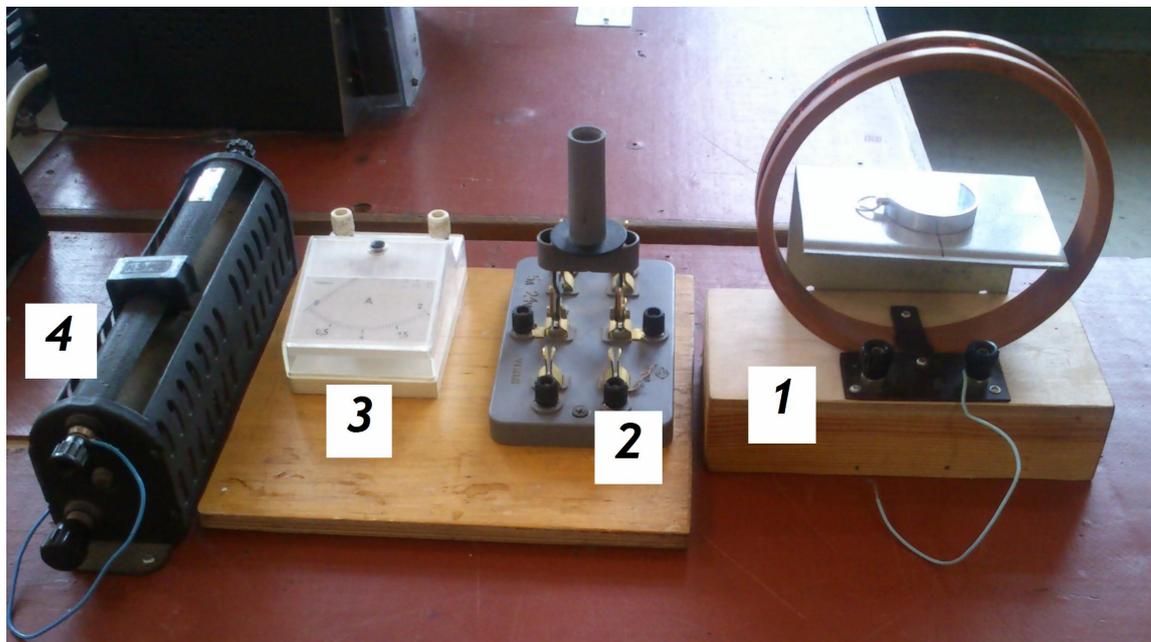


Рис. 4. Общий вид установки для измерения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли: **1** – тангенс-гальванометр; **2** – переключатель П; **3** – амперметр; **4** – реостат R.

При включении тангенс-гальванометра в сеть, ток протекающий через витки катушки создает магнитное поле \vec{B} действующее на намагниченную стрелку компаса. В нашем случае на стрелку компаса будут действовать два взаимно перпендикулярных магнитных поля: горизонтальная составляющая \vec{B}_0 магнитного поля Земли и магнитное поле \vec{B} кругового тока.

В соответствии с принципом суперпозиции магнитного поля стрелка компаса установится вдоль равнодействующей индукции \vec{B}_1 , т.е. по диагонали параллелограмма, сторонами которого будут вектор магнитной индукции магнитного поля кругового тока \vec{B} и горизонтальная составляющая вектора магнитного поля Земли – \vec{B}_0 . Фактически, в нашем случае, с использованием тангенс-гальванометра, будет производиться измерение угла отклонения стрелки компаса α , т.е. угла между горизонтальной составляющей вектора индукции магнитного поля Земли \vec{B}_0 и результирующей индукцией \vec{B}_1 .

Техника безопасности

1. Строго соблюдать общие правила техники безопасности при работе на электроустановках.
2. Запрещается прикасаться к элементам работающей электрической цепи во избежание поражения электрическим током.

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме, указанной ниже на рисунке 5.
2. Установить плоскость катушки тангенс-гальванометра (Т-Г) в плоскости магнитного меридиана Земли так, чтобы стрелка компаса расположилась в плоскости витков катушки, указывая при этом на Север и Юг (S и N).
3. Подключить блок питания (БП) к источнику переменного тока 220 В.
4. Замкнуть цепь переключателем П. С помощью реостата R установить в цепи катушки значение силы тока 0.2 А. Записать в таблицу угол отклонения стрелки компаса α_1 .
5. Изменить переключателем П направление тока. Измерить угол отклонения магнитной стрелки α_2 при той же силе тока (это необходимо для нахождения среднеарифметического значения угла отклонения магнитной стрелки, так как всегда имеется неточность в установлении витков тангенс-гальванометра в плоскости магнитного меридиана).
6. Повторить измерения согласно пп. 4 и 5, при значениях силы тока 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 и 0.7 А.
7. Найти среднее значение угла отклонения $\bar{\alpha}$ стрелки для каждого значения силы тока.

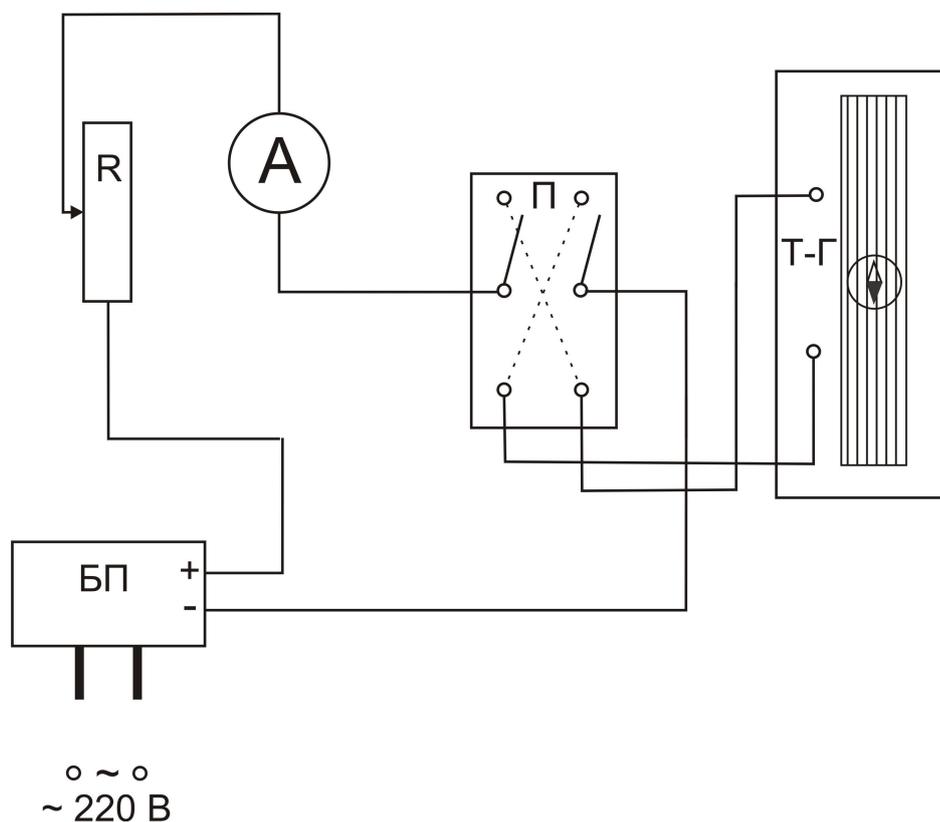


Рисунок 5. Схема электрической цепи.

8. Измерить линейкой диаметр катушки и определить радиус R ее витков. Далее сосчитать количество N витков катушки.
9. Рассчитать значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли B_0 по результатам каждого опыта используя формулу (3).
10. Рассчитать среднее значение \bar{B}_0 и далее вычислить абсолютную погрешность ΔB_0 как для прямых измерений. В выводе результат записать в виде: $B_0 = \bar{B}_0 \pm \Delta B_0$.
11. Сравнить полученное среднее значение индукции магнитного поля Земли \bar{B}_0 со значением рассчитанным в рамках математической международной модели главного магнитного поля Земли IGRF-13 – <http://serv.izmiran.ru/webff/igrf-13gm.html> на сайте Института Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН. Для расчета вводите следующие данные для г. Брянска: Восточная долгота – 34.37 (градусы); Широта – 53.25 (градусы); Высота над уровнем моря – 0.206 (км) и далее нажать «Рассчитать». Значение \bar{B}_0 следует выбирать в строке «Значение поля» и колонке «Н,нТл». Аналогично, при расчете значения \bar{B}_0 в модели IGRF-24 на сайте NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI) – <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#igrfwmm> вводите следующие данные для г. Брянска: Северная (N) Широта (Latitude) – 53.25 (градусы); Восточная (E) Долгота (Longitude) – 34.37;

Высота (**Elevation**) над уровнем моря (**Mean sea level**) – 0.206 (км). Для расчета в модели (**Model**) IGRF-24 выставить выбор модели – **IGRF (1590-2024)** и нажать Рассчитать (**Calculate**). Из полученных значений в новой модели IGRF-24 выбирать значения \vec{B}_0 для горизонтальной составляющей (**Horizontal Intensity**) магнитного поля Земли, которые в данной модели отображаются в нТл (nT).

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется магнитной индукцией? Какие физические процессы приводят к возникновению магнитного поля Земли?
2. Запишите формулу, связывающую индукцию и напряженность магнитного поля. Используя рассчитанное среднее значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, вычислите соответствующее значение напряженности магнитного поля Земли.
3. Какое положение в пространстве примет магнитная стрелка тангенс-гальванометра при наличии:
 - а) только магнитного поля Земли;
 - б) только магнитного поля кругового тока;
 - в) магнитных полей Земли и кругового тока (виток находится в плоскости магнитного меридиана)?
4. Выведите расчетную формулу индукции магнитного поля B_0 в центре кругового тока используя закон Био-Савара-Лапласа. Как изменится индукция магнитного поля в центре кругового тока, если:
 - а) ток в витке увеличить в 2 раза?
 - б) радиус витка увеличить в 2 раза?
5. На какой географической широте горизонтальная составляющая вектора индукции магнитного поля Земли равна нулю?

Список рекомендуемой литературы

1. Воробьёв, А.А. Общая физика / А.А. Воробьёв, В.И. Хромов, Е.Ф. Макаров, Р.П. Озеров. – М.: Кнорус, 2016. – § 6.1.1–6.1.3.
2. Савельев, И.В. Основы теоретической физики / И.В. Савельев. – М.: Наука, 2008. – Т.1, § 49-50.
3. Трофимова, Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. – М.: Академия, 2006. – § 110-111, 119.