

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.12

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

ЦЕЛИ РАБОТЫ

Определить элементы земного магнетизма в помещении лаборатории.

Задачи, выполняемые в ходе работы

1. Откалибровать кольца Гельмгольца.
2. Найти горизонтальную составляющую вектора индукции магнитного поля Земли.
2. Найти магнитное наклонение и вычислить вертикальную составляющую и модуль вектора индукции магнитного поля Земли.

ЗАДАЧИ

1. Определить индукцию магнитного поля Земли, исследуя результирующее поле, создаваемое магнитным полем Земли и магнитным полем системы Гельмгольца.
2. При помощи магнитометра измерить магнитное наклонение магнитного поля Земли.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Англичанин Уильям Гильберт в 1600 г. высказал предположение, что Земля является магнитом, ось которого приблизительно совпадает с осью вращения Земли. Поэтому укрепленная на острие магнитная стрелка устанавливается в направлении с севера на юг. В 1635 г. было обнаружено, что поле земного магнита медленно меняется, а в 18 веке были составлены мировые магнитные карты. В 1835 г. Гаусс создал первую в мире магнитную обсерваторию в Геттингене. Магнитная ось Земли только приблизительно совпадает с ее осью вращения, и вид ее магнитного поля в общих чертах показан на рис.1.



Рис.1 Магнитное поле Земли

Оно имеет такой вид, как будто земной шар представляет собой магнитный диполь. Эквивалентный ему полосовой магнит показан рис.1. Его ось пересекает поверхность Земли в точках, которые называются ее магнитными полюсами. В сторону северного магнитного полюса (в арктической области) направлен южный полюс «земного магнита». В сторону южного магнитного полюса (в антарктической области) направлен его северный

полюс. Магнитные полюса Земли непрерывно перемещаются. Например, за время наблюдений с середины 19 века до наших дней северный магнитный полюс переместился с островов Канадского архипелага в Северный Ледовитый океан напротив Чукотки. Средняя скорость его перемещения в настоящее время около 50 км/год.

Представление о направлении вектора индукции магнитного поля Земли (МПЗ) в данной точке можно получить, укрепив магнитную стрелку так, чтобы она могла свободно вращаться и вокруг вертикальной, и вокруг горизонтальной оси. Это можно осуществить, например, с помощью специального прибора — магнитометра, разновидность которого используется в настоящей работе (рис. 2). Стрелка может быть установлена в нем по направлению вектора индукции МПЗ.

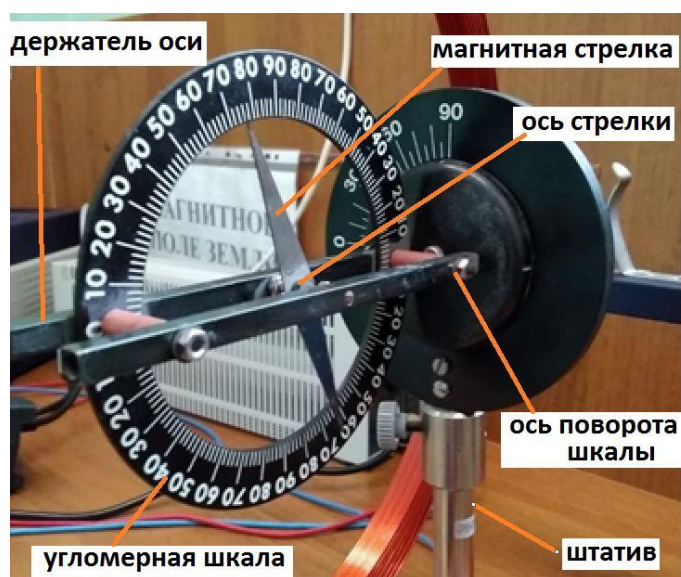


Рис.1. Магнитометр

Полную информацию о МПЗ в данной точке можно получить, зная три величины, называемые элементами земного магнетизма: значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля B_H и значения углов магнитного склонения D и магнитного наклонения θ .

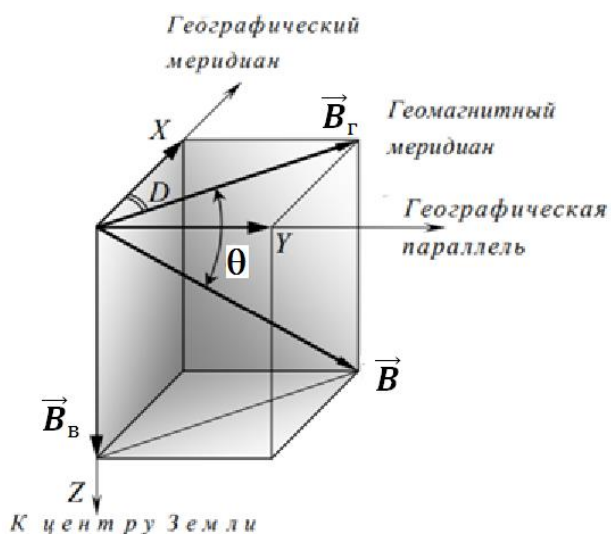


Рис.3. Элементы земного магнетизма

Магнитное склонение (на рис. 3 — D) — угол между географическим и магнитным меридианами в точке земной поверхности. Магнитным меридианом называется проекция силовой линии МПЗ на земную поверхность. Магнитные меридианы могут быть сложными кривыми, но для грубого описания их изображают дугами большого круга, проходящего через магнитные полюса. Значение магнитного склонения указывается на магнитных картах и используется для определения истинного меридиана по показанию магнитного компаса.

Магнитное наклонение (на рис. 3 — θ) — угол между магнитной силовой линией и горизонтальной плоскостью. На магнитных полюсах Земли, а также в районах крупных магнитных аномалий магнитное наклонение равно 90° .

На практике оказывается наиболее удобным непосредственно измерять именно горизонтальную составляющую МПЗ B_r . Поэтому она и входит в число основных элементов земного магнетизма. Вертикальную составляющую магнитного поля B_v можно вычислить, зная B_r и угол магнитного наклонения θ :

$$B_v = B_r \operatorname{tg} \theta. \quad (1)$$

Модуль полного вектора индукции магнитного поля вычисляется из соотношения:

$$B = B_r / \cos \theta \quad (2)$$

Прямое измерение горизонтальной составляющей МПЗ возможно, но часто пользуются сравнением с каким-нибудь горизонтально направленным пробным магнитным полем (например, полем колец Гельмгольца, как в настоящей работе). Для этого кольца Гельмгольца с помещенным в их центральной области магнитометром ориентируют так, чтобы их магнитное поле было перпендикулярно магнитному меридиану. При пропускании тока через кольца магнитное поле колец будет складываться с МПЗ. На рис.4 показано сложение горизонтальной составляющей вектора магнитной индукции МПЗ \vec{B}_r с вектором магнитной индукции поля колец Гельмгольца \vec{B}_H . Стрелка магнитометра ориентируется при этом вдоль результирующего вектора $\vec{B}_{\text{рез}}$ и отклонится от первоначального положения на угол φ .

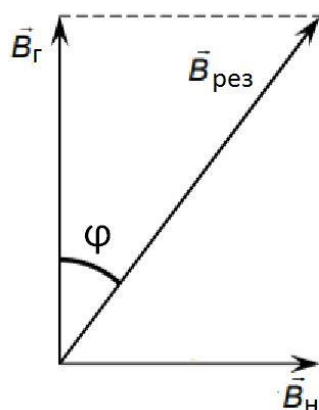


Рис.4 Сложение магнитных полей Земли и колец Гельмгольца

Если известен модуль \vec{B}_H , то модуль \vec{B}_r можно вычислить из соотношения:

$$B_r = B_H \operatorname{ctg} \varphi \quad (3)$$

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на установке для исследования магнитного поля Земли фирмы RHYWE. Ее общий вид показан на рис.5.



Рис. 5. Общий вид лабораторной установки

Установка включает в себя последовательно соединенные кольца Гельмгольца с источником питания, реостат, мультиметр, используемый как амперметр, измеритель магнитной индукции (тесламетр) и магнитометр.

Кольца Гельмгольца это 2 одинаковые тонкие катушки, расположенные параллельно друг другу на расстоянии, равном радиусу катушек R , и смонтированные на устойчивых держателях. При пропускании через катушки одинакового тока на оси катушек между ними создается однородное магнитное поле B_H внутри сферы радиусом $\approx 0.3R$. Индукция этого поля пропорциональна току через катушки I_H . Для определения калибровочного коэффициента пропорциональности используется аксиальный датчик Холла, закрепленный на штативе и соединенный с тесламетром. Если с помощью штатива поместить датчик в центре системы, то можно измерить значение индукции магнитного поля колец Гельмгольца в зависимости от силы протекающего тока. Калибровочный коэффициент K колец Гельмгольца определяется из графика зависимости $B_H(I_H)$ одним из методов линейной интерполяции.

Для калибровки колец Гельмгольца используется измеритель магнитной индукции (тесламетр) с аксиальным датчиком Холла. В составе установки они показаны в правом нижнем углу рис.5, а рабочая панель тесламетра на рис.6. Показанные на рисунке устройства установки нуля 2 и 6, а также выходные гнезда 7 в работе не используются. Переключатель диапазонов 3 должен стоять в положении 20 мТл, а переключатель режимов 4 в нижнем положении (постоянное поле).

Аксиальный датчик Холла представляет собой трубку с измерительным элементом в ее конце и кабелем для подключения к тесламетру.

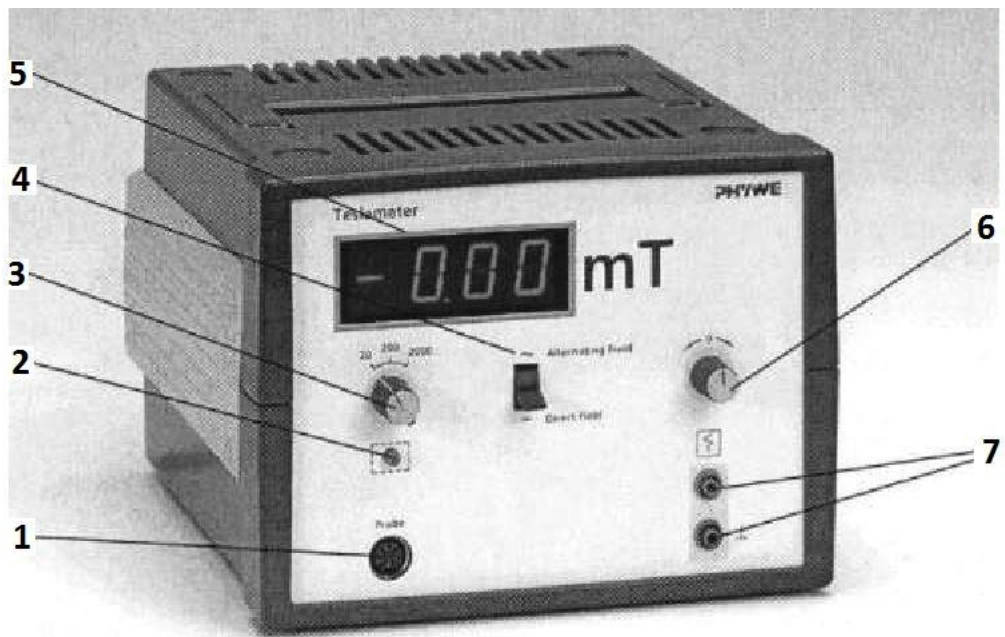


Рис.6 Тесламетр (1 – гнездо для подключения датчика Холла, 2 – винт грубой установки нуля индикатора, 3 – переключатель диапазонов, 4 – переключатель режимов измерения постоянных и переменных магнитных полей, 5 – цифровой индикатор, 6 – ручка плавной установки нуля индикатора, 7 – гнезда для подключения внешних устройств)

Для измерения угла магнитного наклона используется магнитометр (рис.2). Он представляет собой сбалансированную магнитную стрелку, свободно вращающуюся вокруг оси, и круговой шкалы (4 квадранта по 90°) с ценой деления 2° для измерения угла поворота стрелки. Шкала вместе с держателем оси может поворачиваться вокруг горизонтальной оси. При горизонтальном положении шкалы (рис.7, вертикальное положение оси стрелки) стрелка показывает направление магнитного меридиана.



Рис.7 Горизонтальное положение шкалы магнитометра. Стрелка показывает направление магнитного меридиана.

Для определения угла наклона магнитного поля Земли нужно при горизонтальном положении шкалы развернуть магнитометр так, чтобы стрелка указывала на ноль угловой шкалы, а затем повернуть круговую шкалу в вертикальное положение в плоскости

магнитного меридиана, как это показано на рис.2. При этом ось стрелки окажется в горизонтальном положении, перпендикулярном плоскости магнитного меридиана, а сама стрелка покажет направление вектора индукции МПЗ.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Определение калибровочного коэффициента К системы Гельмгольца:

1.1. При выключенном источнике (ток через кольца равен нулю) разместите внутри системы трубку датчика Холла вдоль оси колец так, чтобы ее конец находился в центре системы Гельмгольца.

1.2. Включите тесламетр и убедитесь в том, что показания индикатора были близки к нулю при положении переключателя диапазонов 20 мТл.

1.3. Включите источник и, увеличивая с помощью реостата ток через кольца I_H в диапазоне от 0,5 до 2,5А с шагом 0,2 А, измерьте зависимость индукции магнитного поля колец Гельмгольца B_H от тока через кольца. Данные занести в таблицу 1.

Таблица 1. Зависимость магнитной индукции в центре колец Гельмгольца от тока в них.

№	I_H , А	B_H , мТл
1	0.5	
2	0.7	

2. Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли:

2.1. Разместите в центре системы Гельмгольца магнитометр и при нулевом токе через кольца разверните угловую шкалу в горизонтальное положение. Ось магнитной стрелки окажется в вертикальном положении. Поверните подставку магнитометра так, чтобы стрелка указывала на отметку $\alpha_0 = 10^\circ$ шкалы. Установка на ноль неудобна, так как держатель оси закрывает эту часть шкалы. Значение α_0 запишите в шапку таблицы 2.

2.2 Держатель колец Гельмгольца разверните так, чтобы их ось была примерно перпендикулярна стрелке. Пропустите через катушки ток 1А. Магнитная стрелка развернется при этом вдоль оси колец Гельмгольца. Подправьте их положение таким образом, чтобы стрелка указывала на $90^\circ - \alpha_0 = 80^\circ$ следующего квадранта угловой шкалы. В результате направления магнитных полей Земли и колец Гельмгольца будут взаимно перпендикулярны.

2.3. Проведите измерения зависимости угла отклонения стрелки магнитометра α от силы тока колец I_H при малых токах (от 0 до 60 мА с шагом 3 мА). Результаты запишите в таблицу 2.

Таблица 2. Зависимость угла отклонения магнитной стрелки от тока в кольцах Гельмгольца

№	I_H , мА	α , град.	φ , град.	B_H , мкТл	B_T , мкТл	B , мкТл
1	5					
2	10					

3. Определение наклона магнитного поля Земли:

3.1. Выключите источник тока.

3.2. Проверьте, сохранилась ли ориентация магнитной стрелки на начало отсчета (0°) круговой шкалы. Затем поверните шкалу в вертикальное положение по часовой стрелке. При этом стрелка будет вращаться в плоскости магнитного меридиана, а ось ее вращения ориентирована вдоль магнитной параллели.

3.3. Многократно (5-6 раз) измерьте угол отклонения стрелки θ_1 от горизонтали, выводя стрелку из положения равновесия. Результат запишите в таблицу 3.

3.4. Повторите измерения по п.3.3, повернув шкалу в вертикальное положение против часовой стрелки. Полученные значения θ_2 запишите в таблицу 3.

Таблица 3. Измерение угла магнитного наклона

№	θ_1 , град.	θ_2 , град.	θ , град.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Определение калибровочного коэффициента K системы Гельмгольца:

1.1. Постройте график зависимости магнитной индукции колец Гельмгольца B_H от силы тока I_H .

1.2. Определите калибровочный коэффициент системы K как угловой коэффициент полученной зависимости, воспользовавшись методом парных точек или наименьших квадратов.

Таблица 4. Определение калибровочного коэффициента колец Гельмгольца методом парных точек

Пары точек	ΔI_H , А	ΔB_H , мкТл	K , мкТл/А	$K - \langle K \rangle$, мкТл/А	$(K - \langle K \rangle)^2$, (мкТл/А) ²
1 - 6					
2 - 7					

$$\langle K \rangle = \dots \text{ мкТл/А}; \quad \sum (K - \langle K \rangle)^2 = \dots (\text{мкТл/А})^2$$

2. Определение горизонтальной составляющей МПЗ:

2.1. Вычислите значения угла отклонения магнитной стрелки φ по формуле:

$$\varphi = \alpha - \alpha_0$$

Результаты занесите в таблицу 2.

2.2. Вычислите значения индукции магнитного поля колец Гельмгольца по формуле:

$$B_H = K I_H$$

Значение калибровочного коэффициента K возьмите из таблицы 4. Результаты занесите в таблицу 2.

2.3. Для каждого значения тока I_H вычислите значение горизонтальной составляющей индукции МПЗ по формуле (3). Результаты занесите в таблицу 2.

2.4. Постройте график зависимости $B_r(I_H)$ и найдите на нем приблизительно горизонтальный участок. Для этого участка вычислите $\langle B_r \rangle$ и его статистическую погрешность.

3. Определение наклона и вертикальной составляющей магнитного поля Земли:

3.1. Вычислите средние арифметические значения углов θ_1 и θ_2 .

3.2. Найдите угол магнитного наклона θ как среднее значение θ_1 и θ_2 в каждой строке табл.3, а также среднее арифметическое всех θ и его статистическую погрешность. Сравните ее с погрешностью угловой шкалы магнитометра и определите полную погрешность.

3.3. Используя найденные значения горизонтальной составляющей МПЗ B_r и магнитного наклона θ , найдите по формуле (1) значение вертикальной составляющей B_v , а по формуле (2) значение модуля вектора магнитной индукции B . Оцените погрешности этих величин.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково географическое расположение северного и южного магнитных полюсов?
2. Как располагается магнитная стрелка на магнитном полюсе Земли?
3. Что относится к элементам земного магнетизма?
4. Что такое магнитное склонение?
5. Для каких целей в данной работе используется магнитометр?
6. Каким по порядку величины должно быть значение индукции магнитного поля Земли?

Приложение

Справочные значения параметров МПЗ в СанктПетербурге на 27.02.2008:

Горизонтальная составляющая 14,92 мкТл .

Вертикальная составляющая 50,09 мкТл.

Модуль вектора магнитной индукции 52,27 мкТл.

Магнитное склонение $\theta = 73^\circ 42'$.

