

Определение магнитного поля Земли



Физика

Электричество и магнетизм

Магнетизм и магнитное поле



Уровень сложности



Кол-во учеников



Время подготовки



Время выполнения

тяжелый

2

45+ Минут

45+ Минут

This content can also be found online at:


<http://localhost:1337/c/616b0beabf955f0003ac7ba7>

PHYWE



Общая информация

Описание

PHYWE



Рис.1: Экспериментальная установка

Магнитное поле Земли защищает планету от космического излучения. Знание его точной формы позволяет калибровать измерительные инструменты, которые используются для измерения других магнитных полей.

Дополнительная информация (1/2)

PHYWE

Предварительные
знания



Принцип



Предварительные знания, необходимые для этого эксперимента, содержатся в разделе "Теория".

Постоянное магнитное поле, величина и направление которого известны, накладывается на неизвестное магнитное поле Земли. Магнитное поле Земли может быть рассчитано по величине и направлению результирующей плотности магнитного потока.

Дополнительная информация (2/2)

PHYWE

Обучение
цель



Задачи

Цель этого эксперимента - измерить магнитное поле Земли.

1. Магнитный поток пары катушек Гельмгольца должен быть определен и построен графически в зависимости от тока катушки. Коэффициент калибровки системы Гельмгольца рассчитывается по наклону линии.
2. Горизонтальная составляющая магнитного поля Земли определяется путем наложения поля Гельмгольца.
3. Для расчета вертикальной составляющей магнитного поля Земли необходимо определить угол наклона.

Теория (1/2)



Для катушек без тока магнитная стрелка магнитометра совмещается с горизонтальной составляющей ${}^h B_E$ (направление "север/юг") магнитного поля Земли. Если дополнительное магнитное поле ${}^h B_H$ накладывается на эту составляющую через катушки Гельмгольца, то стрелка будет повернута на угол α и будет указывать в направлении результирующей ${}^h B_H$. На рис. 3А представлены компоненты поля для общего случая $\varphi \neq 90^\circ$. Компоненты, изображенные пунктирной линией, представляют собой результирующие условия обратной полярности тока катушки. Используя теорему синусов, получаем:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin(\varphi - \alpha)} = \frac{{}^h B_H}{{}^h B_E} \quad (1)$$

Теория (2/2)



В частном случае, когда ось катушки перпендикулярна направлению "север/юг" $\varphi = 90^\circ$, применяется следующее:

$${}^h B_E = {}^h B_H \cot \alpha \quad (2)$$

С помощью калибровки

$${}^h B_H = I_H \cdot K \quad (3)$$

из (1) получаем :

$${}^h B_E \cdot \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \right) = I_H \cdot K \quad (4)$$

Оборудование

Позиция	Материал	Пункт №.	Количество
1	Катушки Гельмгольца, 1 пара	06960-06	1
2	PHYWE Источник питания, универсальны DC: 0...18 V, 0...5 A / AC: 2/4/6/8/10/12/15 V, 5 A	13504-93	1
3	Реостат, 100 Ом , 1,8 A	06114-02	1
4	Тесlamетр, цифровой	13610-93	1
5	Датчик Холла, аксиальный	13610-01	1
6	Цифровой мультиметр, 3 1/2 разрядный дисплей с NiCr-Ni термопарой	07122-00	1
7	Магнитометр	06355-00	1
8	Цилиндрическая опора expert	02004-00	1
9	Прямоугольный зажим	02054-00	1
10	Штативный стержень, нерж. ст., l=250 мм, d = 10 mm	02031-00	1
11	Трубка-стойка с зажимом	02060-00	1
12	Соединительный проводник, 1000 мм, красный	07363-01	1
13	Соединительный проводник, 1000 мм, синий	07363-04	4



Подготовка и выполнение работы

Подготовка

Составляющие экспериментальной установки представлены на рис. 1. Катушки Гельмгольца в комплекте с установленными держателями прокладки соединены последовательно (соединение одинаково пронумерованных соединений) и связаны с генератором постоянного тока с помощью реостата и мультиметром, используемым в качестве амперметра. Зонд Холла должен быть закреплен на штативном стержне так, чтобы основание цилиндра было направлено внутрь к оси катушки в центре устройства Гельмгольца. При таком расположении горизонтальная составляющая вектора магнитной индукции ${}^h B_H$ пары катушек определяется как функция тока катушки I_H . Калибровочный коэффициент $K = {}^h B_H / I_H$ определяется с помощью соответствующего графика (см. рис. 2).

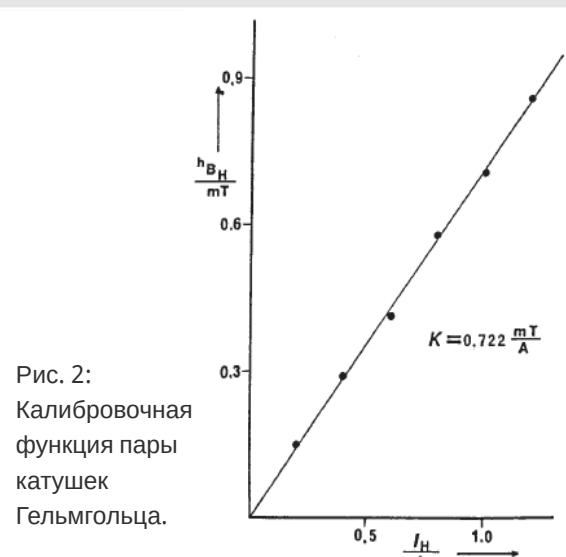


Рис. 2:
Калибровочная
функция пары
катушек
Гельмгольца.

Выполнение работы (1/2)

Примечание: Перед началом измерения необходимо точно установить положение нулевой точки тесламетра.

Магнитометр (с выровненным градуированным кругом) помещают между катушками с помощью цилиндрического основания и штатива, таким образом, чтобы центр градуированного круга приблизительно совпадал с центром пары катушек.

Сначала на градуированном круге для катушек без тока отмечается направление "север/юг". Для того чтобы зафиксировать направление "север/юг" магнитной стрелки, ее следует несколько раз слегка отклонить от положения покоя. Возможное сопротивление трению можно уменьшить, осторожно постучав по инструменту. Для того чтобы определить горизонтальную составляющую ${}^h B_E$ магнитного поля Земли, угол отклонения α магнитной стрелки измеряется из ее положения покоя как функция малых токов катушки. Если полярность тока в катушке меняется, то серию измерений необходимо повторить. При определении точного угла необходимо учитывать показания обоих кончиков стрелки.

Выполнение работы (2/2)

Угол φ (рис. 3А) между направлением "север/юг" и осью пары катушек достигается за счет максимального отклонения стрелки при коротком замыкании резистора, амперметр отключают, а ток катушки устанавливают приблизительно на 4 А.

В заключение, и для бестоковых катушек, градуированный круг магнитометра поворачивается в вертикальную плоскость, так что магнитная стрелка теперь показывает угол наклона ϑ_1 . Убедитесь, что ось вращения соответствует направлению "север/юг". Для того чтобы проверить ϑ_2 магнитометр поворачивается на 180° и, таким образом, перемещают в вертикальной плоскости.

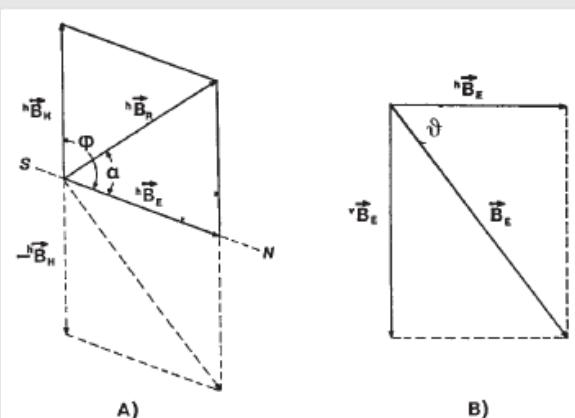


Рис. 3: Векторная диаграмма плотности магнитного потока: А) горизонтальная плоскость, В) вертикальная плоскость.



Оценка

Результаты (1/2)

Если $I_H \cdot K$ представляется как функция от $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ (рис. 4), горизонтальная составляющая магнитного поля Земли получается из наклона.

$${}^h B_E = 19.2 \text{ мкТл}$$

Из рис. 3 В следует, что вертикальная составляющая ${}^v B_E$ и измеренный угол наклона.

$$\vartheta = \frac{1}{2}(\vartheta_1 + \vartheta_2) = \frac{1}{2}(67^\circ + 68^\circ) = 67.5^\circ$$

$${}^v B_E = {}^h B_E \tan \vartheta = 46.3 \text{ мкТл} \quad (5)$$

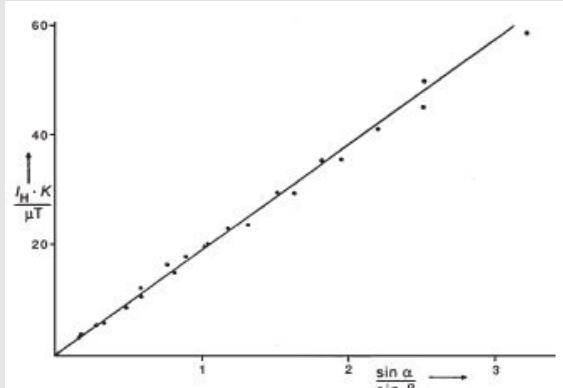


Рис. 4: Линейная функция в соответствии с (4) для определения горизонтальной составляющей ${}^h B_E$ магнитного поля Земли.

Результаты (2/2)



Общая плотность потока B_E рассчитывается как

$$|B_E| = \sqrt{(^v B_E)^2 + (^h B_E)^2} = 50.2 \text{ мкТл}$$

Справочные значения для Геттингена, Германия:

$$^h B_E = 19.06 \text{ мкТл}$$

$$^v B_E = 43.96 \text{ мкТл}$$

$$\vartheta = 66.57^\circ$$

$$B_E = 47.91 \text{ мкТл}$$

Примечание

Приемлемые результаты измерений можно получить только в том случае, если исключить влияние возмущающих магнитных полей (например: куски железа вблизи места измерения).