

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ПО МЕТОДУ ГАУССА

Цель работы: Познакомиться с элементами Земного магнетизма, определить горизонтальную составляющую магнитного поля Земли.

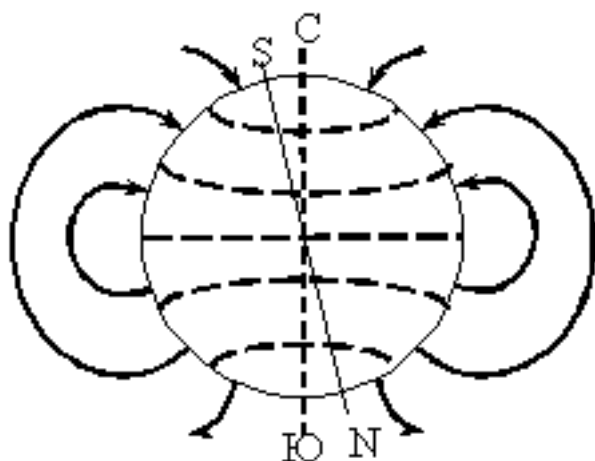


Рис. 1



Рис. 2

Приборы и принадлежности. Компас с линейкой на подставке. Постоянный магнит. Секундомер. Штангенциркуль.

Описание метода измерения

Определение горизонтальной составляющей напряженности земного магнитного поля в данной работе производится по методу Гаусса. Суть этого метода заключается в нахождении магнитного момента вспомогательного магнита из колебаний его под действием \vec{H} Земли и сравнении магнитного поля вспомогательного магнита в какой – либо точке с горизонтальной составляющей магнитного поля Земли в этой же точке по действию их на стрелку компаса.

Установка состоит из компаса и линейки ЕД под действием магнитного поля Земли стрелка компаса располагается в плоскости магнитного меридиана (рис.3).

Линейку ЕД расположим перпендикулярно к плоскости магнитного меридиана. И затем положим на линейку ЕД вспомогательный магнит АВ, имеющий форму цилиндра. вдоль линейки.

Расстояние от середины магнита до оси компаса обозначим r . Под действием магнитного поля магнита стрелка компаса S_n отклоняется от плоскости магнитного меридиана на некоторый угол α .

Напряженность магнитного поля $\overline{H_1}$, созданного вспомогательным магнитом в точке О, можно выразить, рассматривая магнит АВ как “магнит – диполь”. Тогда по аналогии с электрическим диполем по формуле для напряженности электрического поля на оси диполя имеем:

$$H_1 = \frac{1}{4\pi m_0} \cdot \frac{2P_m}{mr^3}. \quad (1)$$

P_m - магнитный момент вспомогательного магнита,

m - относительная магнитная проводимость воздуха, равная 1,

m_0 - магнитная постоянная, в системе СИ равная $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$

Из рисунка 3 $\frac{H_1}{H_r} = \text{tg} \alpha$, отсюда

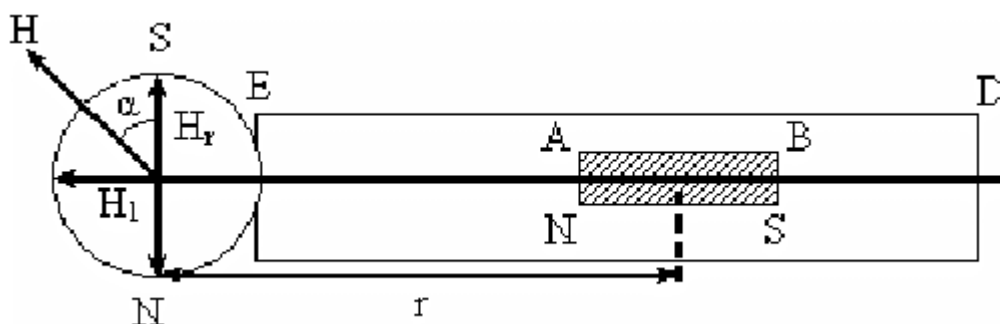


Рис. 3

$$H_r = \frac{H_1}{\text{tg} \alpha} = \frac{2P_m}{4\pi m m_0 r^3 \text{tg} \alpha}. \quad (2)$$

Для определения магнитного момента вспомогательного магнита P_m Гаусс предложил определить период колебаний этого магнита. Магнит АВ подвешивается на длинной нити из перекрученного шелка за крючок, расположенный точно на середине магнита (рис.4). Магнит помещается в шкафчик со стеклянными стенками, который защищает его колебания от влияния различных движений воздуха. В поле Земли на магнит действует пара

сил, стремящихся расположить магнит в плоскости магнитного меридиана, момент которых равен: $\overline{M} = \overline{P_m} * \overline{H_r}$

Составим уравнение движения магнита в горизонтальной плоскости:

$$M = J \frac{d^2 b}{dt^2}.$$

Здесь J - момент инерции относительно оси, проходящей через его середину, перпендикулярно к его длине, b - угол отклонения магнита от плоскости магнитного меридиана.

Момент пары сил равен $M = P_m \cdot H_r \cdot \sin b$, для малого угла b $\sin b = b$, тогда уравнение движения магнита примет вид:

$$P_m \cdot H_r \cdot b = - J \frac{d^2 b}{dt^2}.$$

Знак “минус” поставлен потому, что ускорение $\frac{d^2 b}{dt^2}$ по направлению противоположно углу отклонения.

$\frac{d^2 b}{dt^2} = -P_m \cdot H_r \cdot b / J$ или $b'' = -P_m \cdot H_r \cdot b / J$, т.е. получили уравнение гармонического колебательного движения, в котором $P_m \cdot H_r \cdot b / J = w^2$, где w - круговая или циклическая частота колебания. Из последнего уравнения выражаем магнитный момент магнита:

$$P_m = \frac{w^2 J}{H_r} = \frac{4p^2 J}{T^2 H_r}, \quad (3)$$

где T - период колебаний магнита.

Подставляя (3) в (2), получим

$$H_r^2 = \frac{2pJ}{m_0 m r^3 \text{tg} a T^2}, \quad H_r = \frac{1}{rT} \sqrt{\frac{2pJ}{m_0 m r \text{tg} a}}. \quad (4)$$

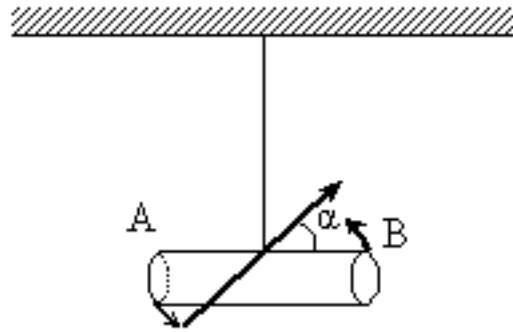


Рис. 4

Момент инерции магнита вычисляется по формуле

$$J = \frac{m}{4} \cdot \left(R^2 + \frac{l^2}{3} \right), \text{ здесь } m - \text{ масса магнита, } R - \text{ радиус, } l - \text{ дли-}$$

на.

Окончательно, для горизонтальной составляющей магнитного поля Земли получаем

$$H_r = \frac{1}{rT} \sqrt{\frac{pm \left(R^2 + \frac{l^2}{3} \right)}{m_0 m r t g a}}. \quad (5)$$

Порядок выполнения работы

Измерить штангенциркулем длину магнита и его диаметр, на весах определить массу магнита с точностью до 0.1.

Подвесит магнит в шкафчике за крючок и, повернув его вокруг вертикальной оси примерно на 100 градусов, сообщить ему крутильные колебания. При помощи секундомера определить время 20 полных колебаний магнита и вычислить период колебаний.

$$T = \frac{t}{20}.$$

Линейку ЕД расположить перпендикулярно к плоскости магнитного меридиана. Выкинув из шкафчика магнит, поместить его вблизи конца линейки слева от компаса, расположить его так, чтобы стрелка компаса отклонилась на $14-20^0$. отсчитать угол отклонения стрелки компаса a_1 и расстояние r от оси компаса до середины магнита.

Повернув линейку на 180^0 , отсчитать угол a_2 .

Повернув магнит другим полюсом к компасу, повторить отсчеты угла для обоих положений линейки (a_3 и a_4).

Взяв среднее из полученных углов, вычислить \vec{H}_r по формуле (5).

ЗАДАЧИ

1. Вычислить момент инерции тонкого диска относительно оси, совпадающей с диаметром диска.

2. Применив теорему Штейнера, вычислить момент инерции толстого стержня относительно оси, перпендикулярной к стержню и проходящей через его центр масс.
3. Выведите рабочую формулу (5).
4. Какие методы определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли, кроме данного, известны Вам?

Выведите формулу для определения погрешности полученного результата и подсчитайте ее.

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТАНГЕНС-ГАЛЬВАНОМЕТРА

Приборы и принадлежности. Компас, тангенс-гальванометр, штангенциркуль, источник постоянного тока с амперметром.

Методика и техника эксперимента.

Если в данной точке геомагнитного поля подвесить за центр масс магнитную стрелку или рамку с током так, чтобы они могли свободно поворачиваться в горизонтальной и вертикальной плоскостях, то они установятся в плоскости магнитного меридиана. Если известно значение угла β и горизонтальной составляющей вектора геомагнитного поля H_g , то имеется возможность определить величину и направление напряженности магнитосферы в данной точке. Для определения направления вектора H_g можно использовать буссоль (bos-sole фран.), стрелка которой под действием H_g устанавливается в плоскости магнитного меридиана. Если с помощью кругового тока создать магнитное поле с напряженностью H_t , в центр которого поместить буссоль, то магнитная стрелка установится по направлению равнодействующей обоих магнитных полей. Поле кругового тока H_t вычисляется, используя закон **Био-Савара-Лапласа**, а горизонтальная составляющая геомагнитного поля H_g определяется по величине угла отклонения стрелки от направления магнитного меридиана.

В настоящей работе предлагается определить горизонтальную составляющую магнитного поля Земли с помощью прибора называемого тангенс-гальванометром (тангенс-буссолью). Тангенс-гальванометр представляет собой вертикально укрепленный соленоид, у которого радиус витков больше длины соленоида. В центре этого соленоида в плоскости, перпендикулярной плоскости витков, создающих круговой ток, помещается буссоль (компас). Если контур тангенс-гальванометра установить с помощью компаса в плоскости геомагнитного меридиана и пропустить через соленоид постоянный ток I_t , то поле кругового тока в центре H_t и горизонтальная составляющая геомагнитного поля H_g окажутся взаимно перпендикулярными.

В этом случае на стрелку буссоли будут действовать два взаимно перпендикулярных магнитных поля H_{Γ} и H_{τ} , в результате чего стрелка установится по направлению равнодействующей H_R (см.рис.5). Горизонтальная составляющая геомагнитного поля определится из следующего выражения:

$$H_{\Gamma} = K \frac{I_i}{\operatorname{tg} j_i}, \quad (1)$$

где I_i - ток, протекающий через соленоид; φ_i - угол отклонения магнитной стрелки при данном токе, $K = N/ 2R$ постоянная тангенс-гальванометра; N - число витков соленоида; R -радиус соленоида. Изменяя значение тока I_i в соленоиде в пределах 0.5-4.0А и меняя его направление, можно получить набор экспериментальных значений I_i и φ_i , по которым рассчитывается среднее

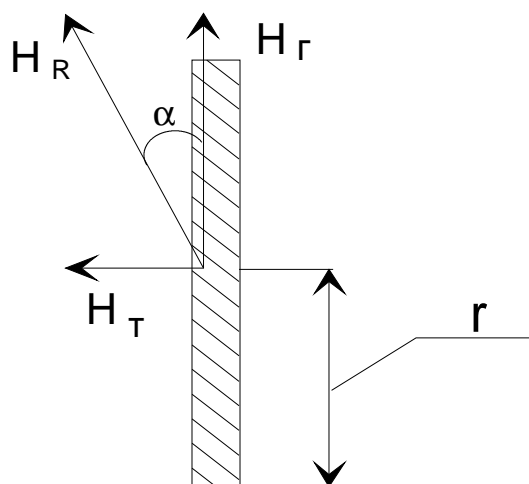


Рис. 5 .Воздействие магнитного поля кругового тока на магнитную стрелку буссоли.

значение \overline{H}_2 в данной точке Земли и погрешность ее определения данным методом. Полученное экспериментальное значение \overline{H}_2 сравнить с геофизическими данными для данной местности и определить относительную ошибку эксперимента.

Относительная ошибка определения величины \overline{H}_2 определится из формулы (1):

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{2\Delta j}{\operatorname{Sin}2j}. \quad (2)$$

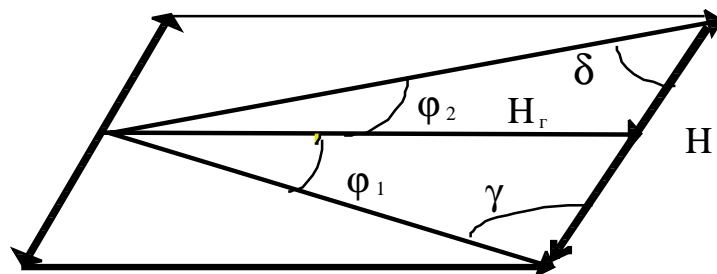


Рис.46

Из выражения (2) следует, что третий член будет иметь минимальное значение при $j = 45^0$. Таким образом, ясно, что необходимо подбирать такую силу тока в цепи, чтобы отклонение стрелки буссоли было близко к 45^0 . В общем случае плоскость соленоида может быть ориентирована произвольно. Тогда величину \overline{H}_2 можно определить, переключая направление тока и определяя углы φ_1 и φ_2 (см. рис.6). Из рис 6 видно, что в случае $\varphi_1 + \varphi_2 + \gamma + \delta = \pi$, тогда

$$\frac{H}{\text{Sin}j_1} = \frac{H_\zeta}{\text{Sin}d}, \quad \frac{H}{\text{Sin}j_2} = \frac{H_\zeta}{\text{Sin}g} \quad (3)$$

Решением полученной системы (3) будет:

$$H = \frac{nI}{2R} \frac{\text{Sin}(\varphi_1 + \varphi_2)}{\sqrt{\text{Sin}^2\varphi_1 + \text{Sin}^2\varphi_2 - 2\text{Sin}\varphi_1\text{Sin}\varphi_2\text{Cos}(\varphi_1 + \varphi_2)}} \quad (4)$$

При $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ выражение (4) превращается в выражение (1)

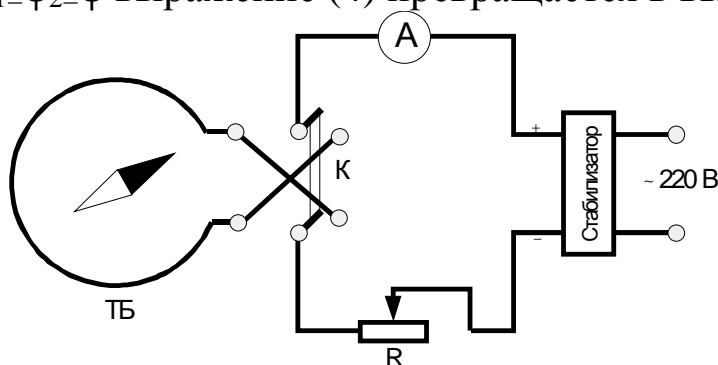


Рис.7.Схема измерений с использованием тангенс - гальванометра. ТБ - тангенс-гальванометр; К - переключатель направления тока; R - реостат; А - амперметр постоянного тока.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Дайте определение магнитной индукции и напряженности магнитного поля, в каких единицах они измеряется?
2. Дайте определение элементам земного магнетизма.
3. Дайте определение силовым линиям и полюсам магнита.
4. Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа и примените его к выводу формулы (1) напряженности магнитного поля в центре кругового тока;
5. Дайте определение магнитному моменту.
6. Как установится стрелка компаса, если линейку ЕД расположить в плоскости магнитного меридиана?