

Протокол 2-2
по лабораторной работе
Измерение горизонтальной
составляющей магнитного поля
земли

Февр 22.01.2025
Вопрос: Убавь V.D
привести

N	α° , град	I, mA	$t_{зд}$	B_k , мкТл	B_c , мкТл
1	20	17			
2	30	39			
3	40	47			
4	45	63			
5	50	83			
6	60	137			
7	70	167			

Цель работы: Экспериментальное определение индукции горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Земля обладает собственным магнитным полем. Магнитная ось наклонена к географической оси примерно на $11,5^\circ$ (рис.1). Наличие у Земли магнитного поля объясняют процессами, протекающими в жидком металлическом ядре Земли.

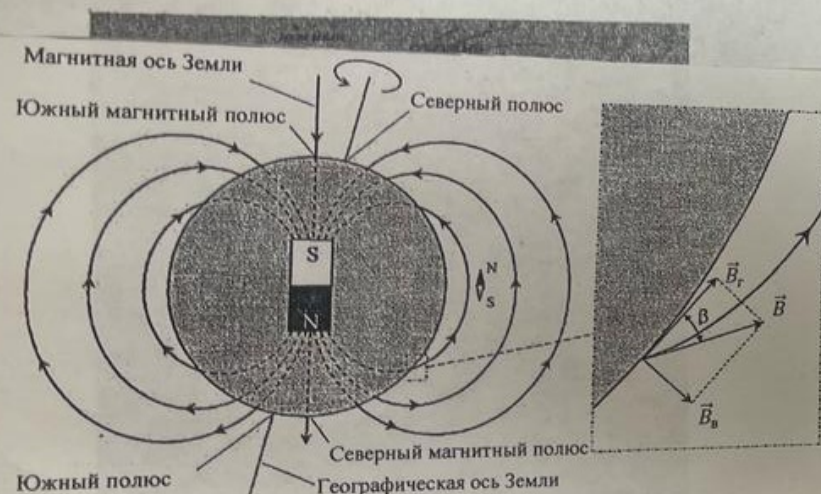


Рис. 1

Направление магнитных силовых линий устанавливается с помощью магнитной стрелки (компас). Если подвесить магнитную стрелку на нити так, чтобы точка подвеса совместилась с центром тяжести, то стрелка установится по направлению касательной к силовой линии магнитного поля Земли. Проекция вектора магнитной индукции на плоскость горизонта представляет горизонтальную

составляющую магнитной индукции магнитного поля. Эта проекция, как и вектор магнитной индукции, лежит в плоскости магнитного меридиана.

Величина горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли (B_H) меняется с географической широтой. На экваторе эта величина примерно равняется 41 мкТл , в Москве -20 мкТл , в Санкт-Петербурге -15 мкТл . На измеряемые значения B_H оказывают влияние локальные магнитные поля, существующие в тех точках, где проводятся их измерения. Так по аномальному отклонению магнитной стрелки у нас в стране в Курской области были обнаружены залежи железной руды. При измерениях горизонтальной составляющей индукции магнитного поля в лаборатории следует заботиться об исключении влияния каких-либо источников магнитных полей, в противном случае такие измерения могут быть неточные.

В данной работе для измерения горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли используется установка, показанная на рис. 2.

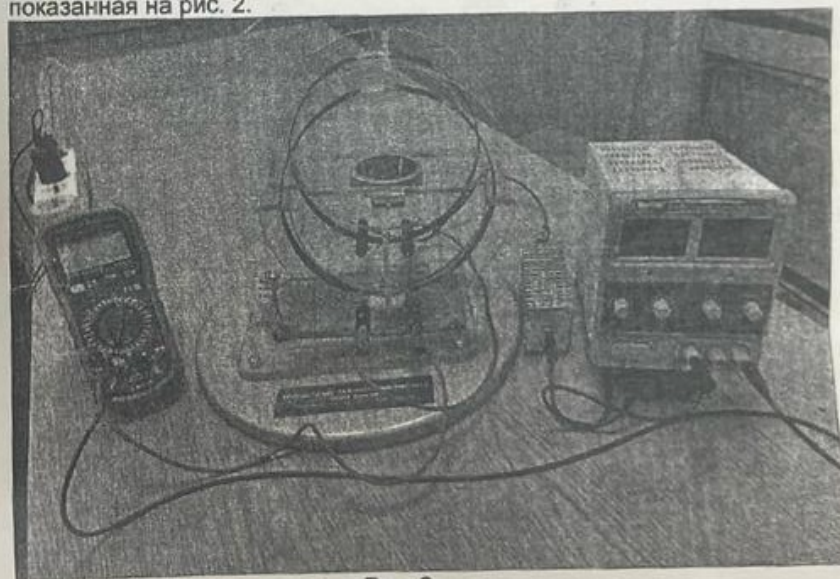


Рис. 2

В центре установки располагаются катушки Гельмгольца, внутри которых находится магнитная стрелка. Справа от катушек находится источник, подающий на катушки электрический ток. С левой стороны располагается прибор, измеряющий электрический ток, проходящий через витки катушек.

Основным элементом лабораторной установки являются катушки Гельмгольца. Катушками Гельмгольца называются система, состоящая из двух одинаковых тонких круговых катушек, расположенных соосно на расстоянии, равном их радиусу. В пространстве между катушками с электрическим током получается магнитное поле высокой однородности, причем, в отличие от магнитного поля соленоида, доступ в рабочую область открыт со всех сторон.

Каждая из катушек состоит из N витков тонкого провода радиуса r_0 . Магнитное поле, создаваемое круговым током, можно рассчитать с помощью закона Био-Савара-Лапласа. Будем считать, что виток провода с током силой i располагается в плоскости перпендикулярной плоскости листа (рис. 3)

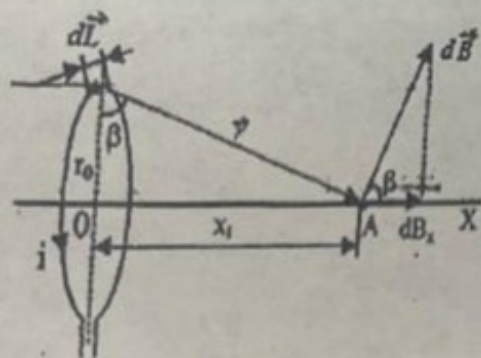


Рис. 3

Индукция магнитного поля $d\vec{B}$, создаваемого элементом кругового тока $d\vec{L}$ в точке A, расположенной на его оси, равна

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} i \frac{[d\vec{L}, \vec{r}]}{r^3}.$$

Так как угол между векторами $d\vec{L}$ и $\vec{r}$ равен $\pi/2$, модуль dB можно рассчитать с помощью выражения

$$dB = \frac{\mu_0 i dL}{4\pi r^2}.$$

Проекция вектора индукции магнитного поля, создаваемого элементом тока, на направление оси кругового витка равняется:

$$dB_x = dB \cos \beta = dB \frac{r_0}{r} = \frac{\mu_0 i r_0 dL}{4\pi r^3}.$$

Индукция суммарного поля B , создаваемого всеми элементами витка с током в точке A, будет определяться суммой величин dB_x , т.е.

$$B = \int dB_x = \int_0^{2\pi r_0} \frac{\mu_0 i r_0 dL}{4\pi r^3} = \frac{\mu_0 i r_0}{4\pi r^3} \int_0^{2\pi r_0} dL = \frac{\mu_0 i r_0^2}{2r^3}$$

Учитывая, что $r = \sqrt{r_0^2 + x_1^2}$, окончательно получаем

$$B = \frac{\mu_0 i r_0^2}{2(r_0^2 + x_1^2)^{3/2}}. \quad (1)$$

где x_1 — расстояние от центра витка до рассматриваемой точки A.

В лабораторной установке горизонтальная составляющая магнитного поля Земли измеряется с помощью магнитной стрелки. Магнитную стрелку помещают в середине магнитного поля, создаваемого катушками Гельмгольца, так чтобы ее направление было параллельно плоскости катушек. После подачи тока через витки катушек, в месте расположения магнитной стрелки возникнет магнитное поле, создаваемое катушками, и магнитная стрелка повернется на угол ϕ , как это показано на рис. 4.

На рис. 4 вектор $\vec{B}_T$ соответствует направлению горизонтальной составляющей магнитного поля Земли, вектор $\vec{B}_K$ определяется индукцией магнитного поля в центре катушек Гельмгольца. Вдоль вектора $\vec{B}$ будет выстраиваться магнитная стрелка при пропускании тока через катушки Гельмгольца.

Индукция магнитного поля в точке, расположенной на оси катушек Гельмгольца по середине между ними согласно формуле (1) будет определяться выражением:

В центре установки располагаются катушки Гельмгольца, внутри которых находится магнитная стрелка. Справа от катушек находится источник, подающий на катушки электрический ток. С левой стороны располагается прибор, измеряющий электрический ток, проходящий через витки катушек.

Основным элементом лабораторной установки являются катушки Гельмгольца. Катушками Гельмгольца называются система, состоящая из двух одинаковых тонких круговых катушек, расположенных соосно на расстоянии, равном их радиусу. В пространстве между катушками с электрическим током получается магнитное поле высокой однородности, причем, в отличие от магнитного поля соленоида, доступ в рабочую область открыт со всех сторон.

Каждая из катушек состоит из N витков тонкого провода радиуса r_0 . Магнитное поле, создаваемое круговым током, можно рассчитать с помощью закона Био-Савара-Лапласа. Будем считать, что виток провода с током силой i располагается в плоскости перпендикулярной плоскости листа (рис. 3)

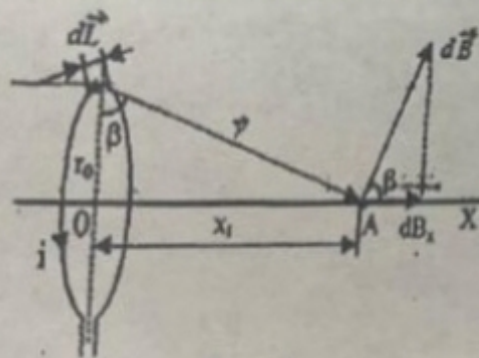


Рис. 3

Индукция магнитного поля $d\vec{B}$, создаваемого элементом кругового тока $d\vec{L}$ в точке A, расположенной на его оси, равна

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} i \frac{[d\vec{L}, \vec{r}]}{r^3}.$$

Так как угол между векторами $d\vec{L}$ и $\vec{r}$ равен $\pi/2$, модуль dB можно рассчитать с помощью выражения

$$dB = \frac{\mu_0 i dL}{4\pi r^2}.$$

Проекция вектора индукции магнитного поля, создаваемого элементом тока, на направление оси кругового витка равняется:

$$dB_x = dB \cos \beta = dB \frac{r_0}{r} = \frac{\mu_0 i r_0 dL}{4\pi r^3}.$$

Индукция суммарного поля B , создаваемого всеми элементами витка с током в точке A, будет определяться суммой величин dB_x , т.е.

$$B = \int dB_x = \int_0^{2\pi r_0} \frac{\mu_0 i r_0 dL}{4\pi r^3} = \frac{\mu_0 i r_0}{4\pi r^3} \int_0^{2\pi r_0} dL = \frac{\mu_0 i r_0^2}{2r^3}$$

Учитывая, что $r = \sqrt{r_0^2 + x_1^2}$, окончательно получаем

$$B = \frac{\mu_0 i r_0^2}{2(r_0^2 + x_1^2)^{3/2}}, \quad (1)$$

где x_1 — расстояние от центра витка до рассматриваемой точки A.

В лабораторной установке горизонтальная составляющая магнитного поля Земли измеряется с помощью магнитной стрелки. Магнитную стрелку помещают в середине магнитного поля, создаваемого катушками Гельмгольца, так чтобы ее направление было параллельно плоскости катушек. После подачи тока через витки катушек, в месте расположения магнитной стрелки возникнет магнитное поле, создаваемое катушками, и магнитная стрелка повернется на угол ϕ , как это показано на рис. 4.

На рис. 4 вектор $\vec{B}_T$ соответствует направлению горизонтальной составляющей магнитного поля Земли, вектор $\vec{B}_K$ определяется индукцией магнитного поля в центре катушек Гельмгольца. Вдоль вектора $\vec{B}$ будет выстраиваться магнитная стрелка при пропускании тока через катушки Гельмгольца.

Индукция магнитного поля в точке, расположенной на оси катушек Гельмгольца по середине между ними согласно формуле (1) будет определяться выражением:

10. По формуле $B_H = \frac{B_K}{\operatorname{tg} \varphi}$ рассчитать значения индукции горизонтальной составляющей магнитного поля Земли для всех значений углов φ . Результаты записать в последний столбец табл. 1.

11. Вычислить среднее значение индукции горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

12. По формуле $\Delta B_H = t_{\alpha, n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_{Hi} - \bar{B}_H)^2}{n(n-1)}}$ вычислить погрешность измерения индукции горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

13. Записать результат измерений в виде:

$$B_H = \bar{B}_H \pm \Delta B_H$$

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Как формулируется закон Био-Савара-Лапласа.
2. Как рассчитывается индукция магнитного поля на оси кругового витка с током?
3. Как рассчитывается индукция магнитного поля между катушками Гельмгольца?
4. Объясните методику определения горизонтальной составляющей магнитной индукции магнитного поля Земли.

10. По формуле $B_H = \frac{B_K}{\operatorname{tg} \varphi}$ рассчитать значения индукции горизонтальной составляющей магнитного поля Земли для всех значений углов φ . Результаты записать в последний столбец табл. 1.

11. Вычислить среднее значение индукции горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

12. По формуле $\Delta B_H = t_{\alpha, n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_{Hi} - \bar{B}_H)^2}{n(n-1)}}$ вычислить погрешность измерения индукции горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

13. Записать результат измерений в виде:

$$B_H = \bar{B}_H \pm \Delta B_H$$

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Как формулируется закон Био-Савара-Лапласа.
2. Как рассчитывается индукция магнитного поля на оси кругового витка с током?
3. Как рассчитывается индукция магнитного поля между катушками Гельмгольца?
4. Объясните методику определения горизонтальной составляющей магнитной индукции магнитного поля Земли.