

3.1.1

МАГНИТОМЕТР

Егор Берсенеv

1 Цель работы

Определить горизонтальную составляющую магнитного поля Земли и установить количественное соотношение между единицами электрического тока в системах СИ и СГС.

2 Оборудование

Магнитометр, осветитель со шкалой, источник питания, вольтметр, электромагнитный переключатель, конденсатор, намагниченный стержень, прибор для определения периода крутильных колебаний, секундомер, рулетка, штангенциркуль.

3 Теоретическая часть

Магнитометр состоит из нескольких последовательно соединенных круговых витков К, расположенных вертикально. В центре кольца К на тонкой неупругой вертикальной нити подвешена короткая магнитная стрелка С. Жестко связанная со стрелкой крыльчатка погружена в масло для демпфирования колебаний. В отсутствие других магнитных полей, стрелка располагается по направлению горизонтальной составляющей магнитного поля земли \mathbf{B}_0 . При появлении дополнительного горизонтального поля \mathbf{B}_\perp стрелка С установится по равнодействующей \mathbf{B}_Σ . Дополнительное поле может быть создано либо магнитным стержнем на кольце, либо током через кольцо. Поле можно считать однородным, т.к. размеры стрелки много меньше радиуса кольца. Поле стержня на перпендикуляре к нему:

$$B_1 = \frac{\mu_0 \mathfrak{M}}{4\pi R^3} \quad (1)$$

Поле в центре кольца с током по закону Био и Савара:

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2R} N \quad (2)$$

Измерив угол отклонения стрелки ϕ , можно связать поля B_0 и B_\perp :

$$B_\perp = B_0 \tan \phi \quad (3)$$

3.1 Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

Для определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли возьмем тонкий магнитный стержень и установим в отверстие на горизонтальном диаметре. Измерив тангенс угла отклонения стрелки

$$\tan \phi_1 = \frac{x}{2L} \quad (4)$$

можно рассчитать поле B_0 , если исключить магнитный момент стержня. Для этого измерим период крутильных колебаний стержня в магнитном поле Земли. Тогда:

$$M_{\text{мех}} = \mathfrak{M}B_0 \sin \alpha \simeq \mathfrak{M}B_0 \alpha$$

Запишем уравнение движения стержня:

$$J\ddot{\alpha} + \mathfrak{M}B_0 \alpha = 0$$

Выразим отсюда период колебаний:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{\mathfrak{M}B_0}} \quad (5)$$

Момент инерции цилиндрического стержня:

$$J = m \left(\frac{l^2}{12} + \frac{r^2}{4} \right) \quad (6)$$

Объединив все формулы, получим:

$$B_0 = \frac{2\pi}{TR} \sqrt{\frac{\mu_0 J L}{2\pi R x_1}} \quad (7)$$

3.2 Определение электродинамической постоянной

Для определения электродинамической постоянной необходимо провести измерения одного и того же тока в разных системах: $I_{\text{СИ}}$ и $I_{\text{СГС}}$.

$$c = 10 \frac{I_{\text{СГС}}}{I_{\text{СИ}}} \quad (8)$$

Пропуская ток через витки магнитометра, измерим тангенс угла отклонения стрелки и по формулам (2) и (3) рассчитываем величину:

$$I_{\text{СИ}} = \frac{2B_0 R}{\mu_0 N} \tan \phi_2 = A \tan \phi_2 \quad (9)$$

Величина A является постоянной прибора. В случае, если B_0 известно, то определение силы тока не требует сравнения с эталонами. Одновременно тот же ток измеряется в системе СГС. Если разрядить конденсатор емкости C , заряженный до напряжения U , то через витки протечет заряд $Q = CU$. Если делать это n раз в секунду, то средний ток через витки будет равен:

$$I_{\text{СГС}} = CUn \quad (10)$$

Таким образом, измерение тока в СГС сводится к нахождению двух, абсолютным образом определенных величин. Для проведения опыта возьмем конденсатор, емкость которого выражена в сантиметрах, а измерения напряжения проведем вольтметром, прокалиброванным в СИ.

4 Ход работы

4.1 Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

Измерим параметры установки

L	104.5	см
σL	0,5	см
l	40	мм
σl	0.05	мм
d	5	мм
σd	0.05	мм
m	5.9	гр
R	20	см

Проведем измерения отклонения кольца:

x_{1+} , см	x_{1-} , см
9.9	9.9
9.5	9.9
9.9	9.9
9.9	9.8
9.8	9.875

Измерим период колебаний магнитного стержня:

t , с	n	T , с
155.53	25	6.22
163.41	25	6.13
155.53	25	6.22

По формуле (7) рассчитаем B_0 .

$$B_0 = \frac{2\pi}{TR} \sqrt{\frac{\mu_0 J L}{2\pi R x_1}} = \frac{2\pi}{6.32 \cdot 0.2} \sqrt{\frac{1.26 \cdot 10^{-6} \cdot 8.24 \cdot 10^{-7} \cdot 1.045}{2\pi \cdot 0.2 \cdot 0.098}} = (1.47 \pm 0.04) \cdot 10^{-5} \text{ Тл} \quad (11)$$

4.2 Определение электродинамической постоянной

Измерения проводились при напряжении $U = 99 \text{ В} = 0.33 \text{ ед. СГС}$, $n = 50 \text{ Гц}$, $N = 44 \text{ витка}$. Проведем измерения отклонения кольца:

x_{2+} , см	x_{2-} , см
10.1	10.9
10.3	11
10.2	10.6
10.7	11
10.9	11
10.7	11.2
10.8	10.7
11.3	11
10.8	11.8
10.8	11.7
10.66	11.09

Рассчитаем токи:

$$I_{\text{СИ}} = \frac{2B_0 R}{\mu_0 N} \tan \phi_2 = \frac{2B_0 R}{\mu_0 N} \frac{x_2}{2L} = \frac{1.47 \cdot 10^{-5} \cdot 0.2}{1.26 \cdot 10^{-6} \cdot 44} \frac{0.109}{2 \cdot 1.045} = 0.55 \pm 0.03 \text{ А} \quad (12)$$

$$I_{\text{СГС}} = CUn = 9 \cdot 10^5 \cdot 0.33 \cdot 50 = (14.85 \pm 0.30) \cdot 10^6 \text{ ед. тока. СГС} \quad (13)$$

Рассчитаем электродинамическую постоянную:

$$c = 10 \frac{I_{\text{СГС}}}{I_{\text{СИ}}} = 10 \frac{14.85 \cdot 10^6}{0.55} = (2.70 \pm 0.16) \cdot 10^8 \quad (14)$$

5 Вывод

В ходе экспериментов нами было получено значение горизонтальной составляющей магнитного поля. С его помощью можно получить выражения для электродинамической постоянной. Оно получилось несколько меньше эталонного. Это произошло потому, что в магнитное поле Земли измерялось вблизи массивных металлических предметов и внутри здания с металлической арматурой, что внесло некоторые искажения.