

Московский физико-технический институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по общему курсу физики
Электричество и магнетизм

Магнитометр.

Таранов Александр
Группа Б01-206

Содержание

1	Описание экспериментальной установки	1
2	Описание экспериментальной установки	1
3	Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли	2
4	Определение электродинамической постоянной	3
5	Ход работы	4
5.1	Характеристики приборов	4
5.2	Измерение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли . . .	4
5.3	Измерение электродинамической постоянной	5
6	Результаты	5

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

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

1. Описание экспериментальной установки

Блок-схема экспериментального стенда изображена на рис. 1. Синусоидальный сигнал от генератора поступает на вход управляемого напряжением источника тока, собранного на операционном усилителе с полевым транзистором, питание которого осуществляется встроенным блоком-выпрямителем от сети $\sim 220\text{В}$. Внутреннее сопротивление источника тока, бесконечно большое в идеальном случае, в нашей схеме составляет несколько ГОм. Это обеспечивает постоянство амплитуды тока на меняющейся нагрузке — параллельном контуре.

Источник тока, колебательный контур и блок питания заключены в отдельный корпус (штриховая линия). На корпусе имеются коаксиальные разъёмы «Вход», U_1 и U_2 , а также переключатель магазина ёмкостей C_n .

Напряжение $\varepsilon = \varepsilon_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$ от генератора поступает на вход источника тока. Это же напряжение через разъём U_1 подаётся на канал 1 осциллографа и на вход вольтметра 1. Переменное напряжение на сопротивлении R_1 в используемой схеме равно напряжению ε на выходе генератора и совпадает с ним по фазе.

Тогда ток I во внешней цепи параллельного контура определяется формулами:

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1} = I_0 \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (1)$$

где

$$I_0 = \frac{\varepsilon_0}{R_1}$$

Напряжение на контуре U , совпадающее с напряжением на конденсаторе U_C , поступает со знаком «—» через разделительный конденсатор и разъём U_2 на канал 2 осциллографа, а также на вход вольтметра 2.

2. Описание экспериментальной установки

Магнитометр (рис. 1) состоит из нескольких последовательно соединённых круговых витков К, расположенных вертикально. В центре кольца К радиусом R на тонкой неупругой вертикальной нити подвешена короткая магнитная стрелка С. Жёстко связанная со стрелкой крыльчатка погружена в масло и служит для демпфирования колебаний.

В отсутствие других магнитных полей стрелка располагается по направлению горизонтальной составляющей земного магнитного поля B_0 , т. е. лежит в плоскости магнитного меридиана.

В нашей установке дополнительное поле может быть создано либо малым ферромагнитным стержнем, расположенным на кольце на его горизонтальном диаметре (B_1), либо током, проходящим по кольцу (B_2). В обоих случаях дополнительное поле можно считать однородным, так как размеры стрелки много меньше радиуса кольца.

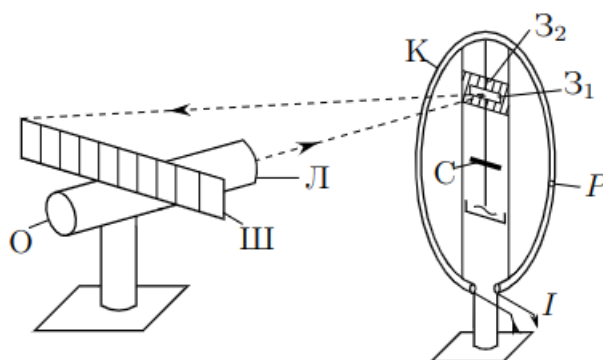


Рис. 1: Схема магнитрометра

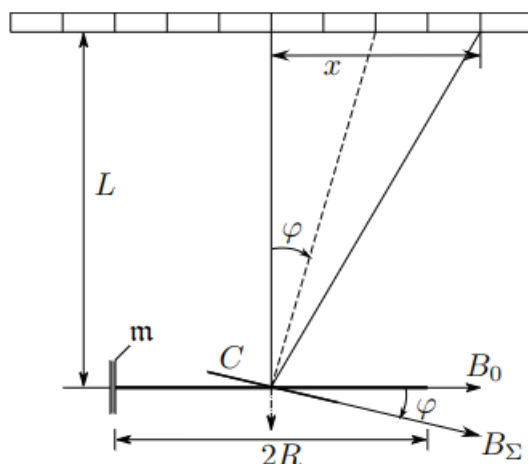


Рис. 2: Схема измерения угла отклонения магнитной стрелки

Поле намагниченного стержня вдали от него может быть приближено к полю точечного диполя:

$$B(r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(3 \frac{(\vec{m} \cdot \vec{r})\vec{m}}{r^5} - \frac{\vec{m}}{r^3} \right)$$

где \vec{m} — магнитный момент стержня, \vec{r} — радиус-вектор, проведенный из центра диполя в точку наблюдения. На оси, перпендикулярной стержню, имеем

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{\vec{m}}{r^3} \right), \quad (2)$$

где R — радиус кольца.

3. Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

Для определения горизонтальной составляющей земного магнитного поля B_0 тонкий короткий намагниченный стержень устанавливается в отверстие Р на горизонтальном диаметре кольца (рис. 1). Измерив тангенс угла отклонения стрелки.

$$\operatorname{tg} \phi_0 = \frac{x_1}{2L}, \quad (3)$$

Если ось стержня отклонить в горизонтальной плоскости от направления B_0 на малый угол α , то под действием возвращающего механического момента

$$M_{\text{мех}} = |\vec{m} \times \vec{B}| \approx \vec{m} B_0 \alpha \quad (4)$$

Таким образом, рассчитав момент инерции I и измерив тангенс угла отклонения стрелки ϕ_1 и период малых крутильных колебаний стержня T , можно с помощью формул определить горизонтальную составляющую магнитного поля Земли:

$$B_0 = \frac{2\pi}{TR} \sqrt{\frac{\mu_0 J L}{2\pi R x_1}} \quad (5)$$

4. Определение электродинамической постоянной

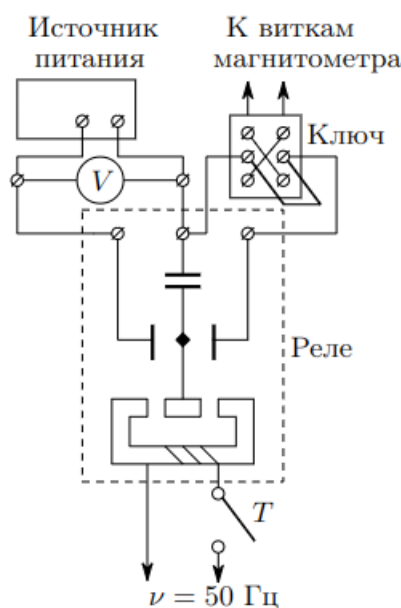


Рис. 3: Схема питания катушки магнитометра

По отношению численных значений одного и того же тока, выраженных в единицах СИ и СГС (гауссовой) по формулам соответственно, можно определить значение электродинамической постоянной:

$$c\left[\frac{\text{М}}{\text{с}}\right] = \frac{1}{10} \frac{I[\text{сгс}]}{I[\text{си}]} \quad (6)$$

5. Ход работы

5.1. Характеристики приборов

Радиус кольца:

$$R = 20 \text{ см}$$

Количество витков в кольце:

$$N = 44$$

Частота вибратора:

$$n = 50 \text{ Гц}$$

Ёмкость конденсатора:

$$C = (9.00 \pm 0.18) \cdot 10^5 \text{ см}$$

5.2. Измерение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

В отверстие Р на горизонтальном диаметре кольца вставили намагниченный стержень и измерили смещение подвижного зайчика $x_1 = (4.3 \pm 0.1) \text{ см}$. Поменяв ориентацию стержня в гнезде, измерили отклонение зайчика в другую сторону, $x_2 = (-3.3 \pm 0.1) \text{ см}$. Учитывая положение неподвижного зайчика ($x_0 = 0.5 \text{ см}$),

$$\Delta x_1 = (3.8 \pm 0.2) \text{ см}$$

$$\Delta x_2 = (-3.8 \pm 0.2) \text{ см}$$

. Расстояние от шкалы до зеркала $L = (104.5 \pm 0.1) \text{ см}$.

Измерим период малых колебаний стержня в магнитном поле Земли: $N = 15$, $\Delta t = (173.0 \pm 0.1) \text{ с}$,

$$T = (11.50 \pm 0.01) \text{ с}$$

Размеры стержня:

$$l = (4.00 \pm 0.01) \text{ см}$$

$$d = (0.50 \pm 0.01) \text{ см}$$

Вычислим момент инерции стержня:

$$J = \frac{5.9 \cdot 10^{-3} \cdot 0.04^2}{12} (1 + 3(\frac{0.5}{2 \cdot 4})^2) = (7.96 \pm 0.01) \cdot 10^{-7} \text{ кг м}^2$$

Вычислим магнитное поле Земли:

$$B_0 = \frac{2\pi}{11.5 \cdot 0.2} \cdot \sqrt{\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 7.96 \cdot 10^{-7} \cdot 1.045}{2\pi \cdot 0.2 \cdot 3.8 \cdot 10^{-2}}} = (1.28 \pm 0.07) \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$$

5.3. Измерение электродинамической постоянной

Включив кнопкой К электровибратор, измерили напряжение $U = 99$ В на конденсаторе и отклонение $x = (12.7 \pm 0.1)$ см, $x_0 = (0.7 \pm 0.1)$ см, $\Delta x = (12.0 \pm 0.2)$ см зайчика на шкале.

Расчитаем токи в системе СИ и СГС:

$$I = \frac{2B_0 R}{\mu_0 N} \cdot \frac{x}{2L} = \frac{2 \cdot 1.28 \cdot 10^{-5} \cdot 0.2}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 44} \cdot \frac{0.12}{2 \cdot 1.045} = (5.3 \pm 0.34) \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$I = CnU = 9 \cdot 10^5 \cdot 50 \cdot \frac{99}{300} = (1.49 \pm 0.01) \cdot 10^7 \text{ ед СГС}$$

Вычислим электрическую постоянную:

$$c = \frac{1}{10} \cdot \frac{I[\text{СГС}]}{I[\text{СИ}]} = (2.80 \pm 0.18) \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

6. Результаты

В ходе работы получили значение магнитного поля Земли: $B_0 = (1.28 \cdot 10^{-5} \pm)$ Тл

Найдя токи двумя способами, в двух системах единиц, нашли скорость света: $c = (2.80 \pm 0.18) \cdot 10^8$ м/с, что сходится с табличными значениями в пределах погрешности.