

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Факультет биологической и медицинской физики

Лабораторная работа 3.1.1
Магнитометр

Выполнили:
Фитэль Алёна,
Попеску Полина
группа Б06-103

Долгопрудный, 15 сентября 2024 г.

I. 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

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{x_1}{2L}, \quad (4)$$

можно с помощью уравнений (1), (3) и (4) рассчитать поле B_0 , если исключить величину \mathfrak{M} – магнитный момент стержня.

Для исключения магнитного момента измерим период крутильных колебаний стержня в поле Земли. Подвешенный горизонтально за середину на тонкой длинной нити стержень в положении равновесия установится по полю Земли (упругость нити пренебрежимо мала). Если ось стержня отклонить в горизонтальной плоскости от направления B_0 на малый угол α , то под действием возвращающего механического момента

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

стержень с моментом инерции J в соответствии с уравнением

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \mathfrak{M} B_0 \alpha = 0$$

будет совершать крутильные колебания с периодом

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

Момент инерции цилиндрического стержня относительно оси вращения

$$J = m \left(\frac{l^2}{12} + \frac{r^2}{4} \right) = \frac{ml^2}{12} \left[1 + 3 \left(\frac{r}{l} \right)^2 \right], \quad (6)$$

где m – масса стержня, l – длина, а r – его радиус.

Таким образом, рассчитав момент инерции J и измерив тангенс угла отклонения стрелки φ_1 и период малых крутильных колебаний стержня T , можно с помощью формул (1), (3), (4) и (5) определить горизонтальную составляющую магнитного поля Земли:

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

II. Определение электродинамической постоянной

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

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

Пропуская ток через витки магнитометра, измеряют тангенс угла отклонения стрелки ($\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{x_2}{2L}$) и по формулам (2) и (3) рассчитывают величину

$$I_{\text{СИ}} = \frac{2B_0 R}{\mu_0 N} \operatorname{tg} \varphi_2 = A \operatorname{tg} \varphi_2. \quad (9)$$

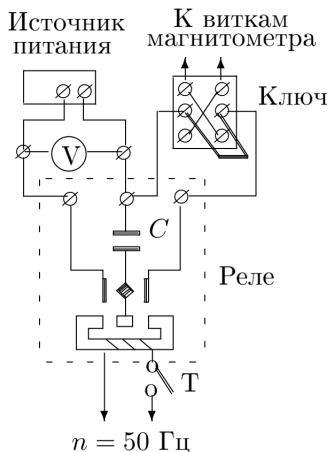


Рисунок 3. Схема питания катушки магнитометра

Величина A является постоянной прибора в данном месте земной поверхности.

Одновременно тот же ток измеряется в системе СГС (рис. 3). Если разрядить конденсатор ёмкости C , заряженный до напряжения U , через витки, то через них протечёт заряд $q = CU$. Если n раз в секунду последовательно заряжать конденсатор от источника и разряжать через витки, то через них за секунду протечёт заряд CUn . Средний ток, прошедший через витки, равен при этом

$$I_{\text{СГС}} = CUn. \quad (10)$$

2. Обработка результатов

2.1. Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

Параметры установки:

- Отклонение $x_1 = 3.5 \pm 0,1$ см, $\tilde{x}_1 = 2.8 \pm 0,1$ см
- Расстояние от шкалы до зеркала $L = 111 \pm 1$ см.
- Радиус кольца $R = 20,0 \pm 0,1$ см

Параметры стержня:

- $m = 4,350 \pm 0,001$ г;
- $d = 4,00 \pm 0,01$ мм $\Rightarrow r = 2,000 \pm 0,005$ мм;
- $l = 45,00 \pm 0,01$ мм.

За 132.1 секунд произошло 10 колебаний, следовательно, период $T = 13.2 \pm 0,3$ секунд.

По формуле

$$J = \frac{ml^2}{12} \left[1 + 3 \left(\frac{r}{l} \right)^2 \right]$$

найдем момент инерции стержня, $J = 7,38 \cdot 10^{-7}$ кг \cdot м². Погрешность $\sigma_J = 4,6 \cdot 10^{-9}$ кг \cdot м².

Найдем величину B_0 горизонтальной составляющей магнитного поля Земли по формуле:

$$B_0 = \frac{2\pi}{TR} \sqrt{\frac{\mu_0 J L}{2\pi R x_1}} = (115 \pm 4) \cdot 10^{-7} \text{ Тл}$$

2.2. Определение электродинамической постоянной

Параметры установки:

Расстояние от шкалы до зеркала $L = 111 \pm 1$ см.

- Рабочее напряжение $U = 98$ В;
- Электроёмкость конденсатора $C = 9 \cdot 10^5$ см $\pm 2\% = 1,896$ мкФ;
- $N = 44$ витка;
- Радиус кольца $R = 20,0 \pm 0,1$ см
- Частота $n = 50$ Гц.

При включении электровибратора отклонение «зайчика» вправо: $A_1 = 3.5$ см, отклонение влево: $A_2 = 2.8$ см \Rightarrow среднее отклонение $x_2 = (A_1 + A_2)/2 = 3.2$ см. Тогда по формуле (9):

$$I_{\text{СИ}} = \frac{2B_0 R}{\mu_0 N} \frac{x_2}{2L} = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ А}; \quad \sigma I_{\text{СИ}} = 0.3 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

$I_{\text{СГС}}$ найдём по формуле (10):

$$I_{\text{СГС}} = CUn = 147 \cdot 10^5 \text{ ед. СГСЭ}; \quad \sigma I_{\text{СГС}} = 3 \cdot 10^5 \text{ ед. СГСЭ}.$$

Тогда найдём c :

$$c = 10 \frac{\{I\}_{\text{СГС}}}{\{I\}_{\text{СИ}}} = (11 \pm 3) \cdot 10^{10} \frac{\text{ед. СГСЭ}}{\text{А}};$$

3. Вывод

В ходе работы была определена горизонтальная составляющая магнитного поля Земли ($B_0 = (115 \pm 4) \cdot 10^{-7}$ Тл) и было установлено количественное соотношение между единицами электрического тока в системах СИ и СГС, $c = (11 \pm 3) \cdot 10^{10} \frac{\text{ед. СГСЭ}}{\text{А}}$. Несовпадение полученной величины с табличным значением константы $c = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{ед. СГСЭ}}{\text{А}}$, может быть связано с отличием значения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли, полученной в первой части работы, с той, которая была во второй части, вследствие влияния соседних установок и электронных устройств на итоговое горизонтальное поле.