

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа физики и исследований им. Ландау

Магнитометр

Автор:
Шахматов Андрей Юрьевич
Б02-304

Долгопрудный 2024

Аннотация

По влиянию намагниченного стержня на магнитометр определена горизонтальная компонента магнитного поля Земли. При помощи измерения силы тока в разных системах исчисления определена электродинамическая постоянная.

1 Введение

Цель работы заключается в определении горизонтальной составляющей магнитного поля Земли B_0 , а так же в расчёте электродинамической постоянной c .

2 Методика

В работе используется магнитометр (Рис. 1). В отсутствии других магнитных полей стрелка магнитометра располагается по направлению горизонтальной составляющей земного магнитного поля B_0 .

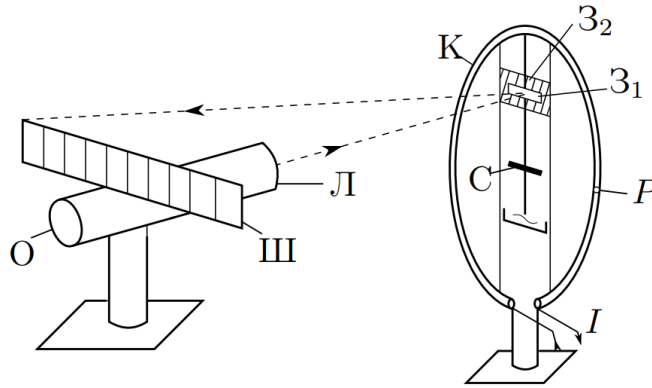


Рис. 1: Схема магнитометра. Буквами обозначены К — последовательно соединённые круговые витки, Р — отверстие для установки намагниченного стержня, З — зеркало, отражающее свет из осветителя О на измерительную шкалу Ш согласно стрелки С, поворачивающейся по направлению магнитного поля

Если в центре магнитометра создаётся дополнительное магнитное поле B , его стрелка отклонится на угол φ (Рис. 2):

$$\varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{2L}.$$

Тогда можно вычислить магнитное поле, вызвавшее отклонение, как

$$B = B_0 \operatorname{tg} \varphi.$$

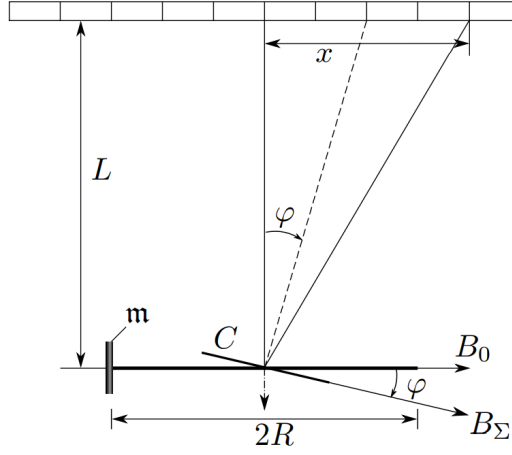


Рис. 2: Схема измерения угла отклонения магнитной стрелки

2.1 Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

При помощи намагниченного стержня можно создать дополнительное поле, которое в проекции на ось, перпендикулярную стрелке, описывается выражением

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{R^3},$$

где m — магнитный момент стержня, R — радиус кольца. Дополнительно, при помощи измерения крутильных колебаний стержня в магнитном поле найдём магнитный момент стрелки. Крутильные колебания диполя можно описать уравнением

$$J\ddot{\alpha} + mB_0\alpha = 0,$$

где $J = \frac{ml^2}{12} \left[1 + 3 \left(\frac{r}{l} \right)^2 \right]$ — момент инерции стрелки. Из решения уравнения следует, что период колебаний вычисляется как

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mB_0}},$$

В таком случае можно получить выражение для горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

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

2.2 Определение электродинамической постоянной

Если пропустить ток по виткам магнитометра, в центре создастся магнитное поле B_2 :

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2R} N,$$

где N — число витков в кольце, I — сила тока в единицах СИ. В таком случае можно выразить ток I через угол отклонения магнитометра как

$$I = \frac{2B_0 R}{\mu_0 N} \frac{x_2}{2L}.$$

Также можно измерить ток абсолютным способом, как заряд, прошедший с конденсатора через кольцо в единицу времени:

$$I = CU\nu,$$

где C — ёмкость конденсатора в единицах СГС, U — напряжение источника в единицах СГС, ν — частота источника. Таким образом можно вычислить электродинамическую постоянную в единицах СИ как

$$c = \frac{1}{10} \frac{I_{[\text{СГС}]}}{I_{[\text{СИ}]}}.$$

3 Результаты и их обсуждение

Измерено отклонение магнитометра $x_1 = 4,0 \pm 0,5$ см от воздействия намагниченного стержня. После определён период малых крутильных колебаний стержня, путём измерения 10 колебаний и последующего усреднения, период составил $T = 10,9 \pm 0,2$ с.

При использовании штангенциркуля определены размеры намагниченного стержня $d = 4,9 \pm 0,1$ мм — диаметр стержня, $l = 39,9 \pm 0,1$ мм — длина стержня. Вычислен момент инерции стержня

$$J = (5.70 \pm 0.04) \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Согласно параметрам установки (Прил. 6.1) и измеренным выше значениям, вычислена горизонтальная компонента магнитного поля Земли:

$$B_0 = (1.14 \pm 0.09) \cdot 10^{-5} \text{ Тл}.$$

После подачи тока на кольцо магнитометра, измерено отклонение стрелки $x_2 = 13,5 \pm 0,5$ см. Тогда ток, измеренный в единицах СИ

$$I_{[\text{СИ}]} = (5.1 \pm 0.4) \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

Тогда как ток, измеренный в СГС

$$I_{[\text{СГС}]} = (1.48 \pm 0.12) \cdot 10^7 \text{ ед. СГС}.$$

Электродинамическая постоянная получается из отношение этих токов

$$c = (2.91 \pm 0.32) \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

4 Выводы

Определена горизонтальная составляющая магнитного поля Земли $B_0 = (1.14 \pm 0.09) \cdot 10^{-5}$ Тл, что совпадает по порядку с табличным значением магнитного поля Земли $B \approx 30$ мкТл. Определено значение электродинамической постоянной $c = (2.91 \pm 0.32) \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, что совпадает с табличным значением $c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ в пределах погрешности.

5 Использованная литература

Список литературы

[1] Лабораторный практикум по общей физике, Том 2, под редакцией А. Д. Гладуна

6 Приложения

6.1 Параметры установки и погрешности приборов

$L = 110 \pm 1$ см — расстояние от осветителя до зеркала, $D = 40 \pm 1$ см — диаметр кольца магнитометра, $C = (9,00 \pm 0,18) \cdot 10^5$ см — ёмкость конденсатора в СГС, $U = 98,6 \pm 0,3$ В — напряжение источника, $m = 4,25$ г — масса стержня, $n = 50$ Гц — частота источника.