

Лабораторная работа 2.10

“ Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли ”

1. Магнитное поле и его свойства.

Магнитные свойства веществ были открыты и использованы (в виде магнитной стрелки) еще в VI в. до н. э. Систематические исследования магнетизма начались в XVI в. и продолжаются по сей день.

В результате исследований было установлено:

1. Магнит имеет два полюса: северный N и южный S и нейтральную зону, которая почти не проявляет магнитных свойств.

2. Магнитные полюса невозможно отделить друг от друга (в отличие от положительных и отрицательных зарядов).

Если магнит разрушать по нейтральной зоне, получается два новых магнита. (с.1)

3. Одноименные полюса отталкиваются, а разноименные — притягиваются. На этом свойстве основано действие магнитной стрелки, которая сама является маленьким магнитом.

4. Магнетизм и электричество неразрывно связаны друг с другом. Магнитное поле образуется вокруг движущихся зарядов и проводников с током (а электрическое — вокруг движущихся и покоящихся зарядов).

5. Магнитное поле является силовым. Основным его свойством является способность действовать с некоторой силой F на движущиеся заряды и проводники с током (а также на магнитную стрелку и др. магниты).

Заметим, что электрическое поле действует как на движущиеся так и на покоящиеся заряды) (с. 2).

6. Силовой характеристикой магнитного поля является индукция магнитного поля. Сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током I длиной l равна:

$$F = I \cdot B \cdot l \cdot \sin(\alpha, B)$$

где $-(\alpha, B)$ угол между проводником и вектором магнитной индукции B (иначе говоря между направлениями тока и поля).

Из формулы (1) можно выяснить физический смысл магнитной индукции B , если величинам $I, l, \sin(\alpha, B)$ придать значение, равное 1. Тогда вектор магнитной индукции B равен силе, действующей со стороны поля на единицу длины проводника, по которому течет электрический ток единичной силы, при условии, что проводник расположен перпендикулярно полю. График: (с. 3)

Значение и направление магнитной индукции поля, созданного током, зависят от силы тока, длины и конфигурации проводника и других параметров. Индукция dB , созданная элементом тока $J dl$ выражается законом Био-Савара-Лапласа:

$$dB = \mu \mu_0 / 4\pi \cdot J dl \cdot \sin(dl, r) / r^2$$

где μ – магнитная проницаемость вещества, в котором находится точка поля, показывающая, во сколько раз индукция поля в веществе больше или меньше, чем в вакууме, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Г/м}$ – магнитная постоянная, $J dl$ – элемент тока, r – расстояние от элемента тока до точки поля A , в которой определяется индукция dB (рис. 2), (dl, r) – угол между векторами. Обозначим его α .

Запишем закон Био-Савара-Лапласа в векторной форме

(с. 4)

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \int \frac{[dl \cdot r]}{r^3} [dl \cdot r]$$

Из (3) видно, как направлен вектор dB (как векторного произведения векторов dl и r).

Вектор магнитной индукции dB перпендикулярен плоскости, в которой лежат векторы dl и r направлен так, что вращение от dl к r кажется происходящим из его конца против часовой стрелки.

На чертеже вектор dB перпендикулярен плоскости чертежа и направлен к нам. Впрочем, есть более простой метод определения направления dB и B , основанный на правиле буравчика. Полная магнитная индукция, созданная всей длиной проводника равна

$$B = \int dB \quad (с. 5)$$

Магнитная индукция измеряется в Теслах (Тл).

Из (2) видно, что значение индукции B зависит от магнитных свойств среды (посредством μ).

Эта зависимость создает неудобства при переходе поля из одного вещества в другое. Поэтому ввели еще одну, дополнительную характеристику магнитного поля – напряженность H , которая не зависит от свойств среды и связана с индукцией B соотношением:

$$H = B / \mu \cdot \mu_0$$

Измеряется напряженность в амперах на метр (А/м).
направлена так же как и B .

Тогда закон Био-Савара-Лапласа для напряженности dH запишется:

$$dH = 1 / 4\pi \cdot I dl / r^2 \cdot \sin(\angle dl, r)$$

$$H = \oint dH$$

(с. 6)

Магнитное поле изображается графически с помощью магнитных силовых линий.

Магнитной силовой линией называется линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с направлением вектора магнитной индукции (или напряженности H).

Направление магнитной силовой линии поля, созданного током, определяется правилом буравчика:

Если буравчик, ввинчивать в направлении тока, то движение рукоятки покажет направление магнитных силовых линий.

Как рис. 3 показано магнитное поле прямого и кругового токов.

Силовые линии представляют собой концентрические окружности, в центре которых находится ток.

Силовые линии магнитного поля всегда замкнуты (в отличие от электрического). (с. 7)

Определим величину и направление вектора напряженности H в центре кругового тока. Для этого воспользуемся формулой:

$$H = \int dH = \int \frac{1}{4\pi} \cdot J dl / r^2 \cdot \sin(\angle dl, r)$$

Из чертежа видно, что, dl перпендикулярен rdl , следовательно $\sin(\angle dl, r) = 1$,

поэтому можно вынести за знак интеграла,

$$\begin{aligned} H &= \frac{1}{4\pi} \cdot J / r^2 \int dl = \frac{1}{4\pi} \cdot J / r^2 \cdot 1 = \\ &= \frac{1}{4\pi} \cdot J / r^2 \cdot 2\pi r = J / 2r \end{aligned}$$

dl – элемент длины проводника,

$l = 2\pi r$ – длина проводника.

$$H = J / 2r$$

(с. 8)

Это и понадобится для лабораторной работы
Направление вектора B и H в центре кругового тока
можно определить как касательную к силовой
линии (пунктир). Видно, что вектор B и H направлены
перпендикулярно чертежу – от нас.

Дадим определение единиц измерения индукции B
и напряженности H

1. Тесла равен магнитной индукции, при которой
через поперечное сечение площадью 1 м^2 проходит
магнитный поток в 1 Вебер (Вб).

Это определение вытекает из формулы $B = \Phi_m / S$,
где Φ_m – магнитный поток,
 S – площадь, пронизанная им.

(с. 9)

Ампер/метр = напряженности магнитного поля

в центре длинного соленоида, по которому проходит ток силой $I = 1/n$ А

где n – число витков на единицу длины соленоида.

(Напряженность внутри соленоида $H = In$).

Магнитное поле Земли.

Земля обладает гравитационным магнитным и электрическим полем.

Исследования магнитного поля Земли показали, что Земля представляет собой гигантский магнит в виде намагниченного шара или диполя (полюсового магнита).

Природа земного магнетизма до конца не выяснена.

Делали попытки объяснить его присутствием ферромагнитных материалов в коре Земли, наличием

в ядре Земли токов и т. д. Наиболее подходящей является гипотеза, согласно которой в электропроводящем жидком ядре Земли могут происходить (с. 10)

достаточно интенсивные движения, приводящие к самовозбуждению магнитного поля.

В качестве причин, вызывающих движения, называются архимедовы силы, обусловленные небольшими неоднородностями плотностями в ядре и силы инерции.

Магнитное поле Земли является ловушкой для космических лучей – частиц (протонов, электронов, позитронов, – частиц), прилетающих из космоса и пролетающих в околоземном пространстве. Скопление этих частиц создали два радиационных пояса вокруг Земли.

Магнитное поле Земли притягивает к себе частицы, низвергаемые из недр Солнца (солнечный ветер) и взаимодействие солнечного ветра с атмосферой Земли приводит к полярным сияниям. Поскольку магнитное поле сильнее вблизи полюсов, полярные сияния наблюдаются в северных и южных широтах. (с. 11)

Сильное возмущение магнитного поля в период большой солнечной активности приводит к магнитным бурям.

Магнитное поле Земли является неоднородным.

Его напряженность возрастает от экватора Земли к полюсу с 33.4 А/м до 55.7 А/м.

Отклонение значения напряженности магнитного поля от нормального называется магнитной аномалией: она обусловлена остаточной намагниченностью земных пород (в основном ферромагнетиков), намагниченных в период их образования из раскаленной магмы, сотни миллионов лет назад.

Магнитное поле Земли исследуют с помощью магнитной стрелки, которая в свободном состоянии (или будучи подвешена на нити) устанавливается по касательной к магнитной силовой линии. (с. 12)

На полюсе стрелка устанавливается перпендикулярно поверхности Земли, а на экваторе – параллельно. Северный полюс магнитной стрелки указывает на северный географический полюс и на южный магнитный полюс.

Географическим полюсом называется точка пересечения поверхности Земли с осью вращения Земли, а магнитным – с магнитной осью. Исследования показывают, что географической и магнитный полюса не совпадают.

Угол наклона между осью вращения и магнитной осью (он называется углом склонения) составляет 11,5°.

Это соответствует расстоянию между географическим и магнитным полюсами 1200 км на поверхности Земли.

Положение магнитного полюса меняется: Так 700 млн. лет назад северный магнитный полюс находился у берегов Калифорнии, затем двигался на юг, на запад и в течение последних 200 – 300 млн. лет прошел поперек Тихого океана, оказался у берегов Японии, (с. 13)

а потом повернул на север. Перемещение магнитных полюсов обусловлено перемещением материков в прошлом.

Установка задачи и описание метода.

Целью работы является измерение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли. Горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли $H_{гор}$ называется проекция напряженности магнитного поля Земли H_z на горизонтальную плоскость (рис 5).

Она определяется методом Тангенса гальванометра, который представляет собой вертикальную катушку, состоящую из n витков.

В центре катушки в ее горизонтальной плоскости укреплен компас, магнитная стрелка которого в отсутствие тока будет подвергаться действию только магнитного поля Земли, вернее, его горизонтальной составляющей $H_{гор}$ (с. 14)

При пропускании тока по катушке возникает магнитное поле тока напряженностью H перпендикулярно плоскости катушки. Теперь стрелка подвергается действию двух магнитных полей – земного и поля тока, поэтому она установится вдоль равнодействующей H этих полей: $H_{(гор)}$ и $H_{(1)}$

Если плоскость катушки установить в плоскости магнитного меридиана (стрелка компаса указывает на θ), то $H_{(гор)}$ перпендикулярно H_1 , и тогда из прямоугольного треугольника можно найти $H_{(гор)}$ (Рис. 4).

$$\operatorname{tg} \varphi = H_1 / H_{\alpha}$$

$$H_{\alpha} = H_1 / \operatorname{tg} \varphi$$

Т. к. катушка содержит n витков, то

$$H_{(1)} = nI / 2r$$

(см. формулу (9)), следовательно

$$H_{(зем)} = nI / 2r \operatorname{tg} \varphi \quad (с. 15)$$