

Лабораторная работа

ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Цель работы

- 1 Изучение свойств магнитного поля (магнитного поля Земли и магнитного поля, создаваемого постоянным током).
- 2 Определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли.

Приборы и принадлежности

- 1 Источник питания
- 2 Тангенс-гальванометр
- 3 Амперметр
- 4 Соединительные провода

Введение

Как известно, магнитное поле создается движущимися зарядами (электрическим током) и действует на движущиеся заряды (ток). Основными характеристиками магнитного поля являются вектор напряженности магнитного поля \vec{H} и вектор магнитной индукции \vec{B} .

Для определения напряженности магнитного поля, создаваемого проводником с током I воспользуемся законом Био-Савара-Лапласа:

$$d\vec{H} = \frac{I \cdot d\vec{l} \times \vec{r}}{4\pi \cdot r^3}, \quad (1)$$

где $d\vec{l}$ - длина бесконечно малого элемента тока I , а \vec{r} - расстояние от этого элемента проводника до точки, в которой рассчитывается напряженность магнитного поля (рисунок 1).

Вектор напряженности МП перпендикулярен плоскости, в которой лежат вектора $d\vec{l}$ и \vec{r} . Его направление определяют по правилу правого винта.

Для расчетов магнитных полей плоских проводников используют скалярную форму закона Био-Савара-Лапласа:

$$dH = \frac{I \cdot dl \cdot \sin \alpha}{4\pi \cdot r} \quad (2)$$

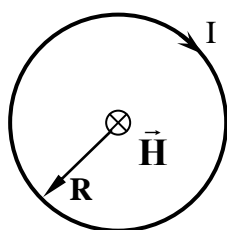


Рисунок 2

Согласно принципу суперпозиции результирующее магнитное поле можно найти, сложив все вектора напряженности магнитного поля в данной точке. Таким образом, складывая все вектора $d\vec{H}$ (интегрируя вдоль проводника), находят значение вектора \vec{H} .

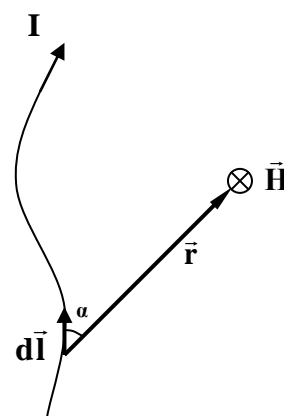


Рисунок 1

Применяя этот закон к кольцевому проводнику, получим напряженность МП в его центре (рисунок 2):

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{I}}{2R}. \quad (3)$$

По одной из гипотез, магнитное поле Земли создается вихревыми токами, возникающими в ее жидком металлическом (предположительно – железоникелевом) ядре. В результате Землю можно представить как магнитный диполь, силовые линии которого изображены на рисунке 3. Средняя напряжённость поля на поверхности Земли составляет около 40 А/м (0,5 э) и сильно зависит от географического положения (в так называемых районах магнитных аномалий напряжённость резко возрастает). Так, в районе Курской магнитной аномалии она достигает 160 А/м.

Роль магнитного поля Земли в нашей жизни очень велика. Магнитосфера Земли защищает нас от солнечного ветра, искривляя траектории заряженных частиц и направляя их на магнитные полюса планеты.

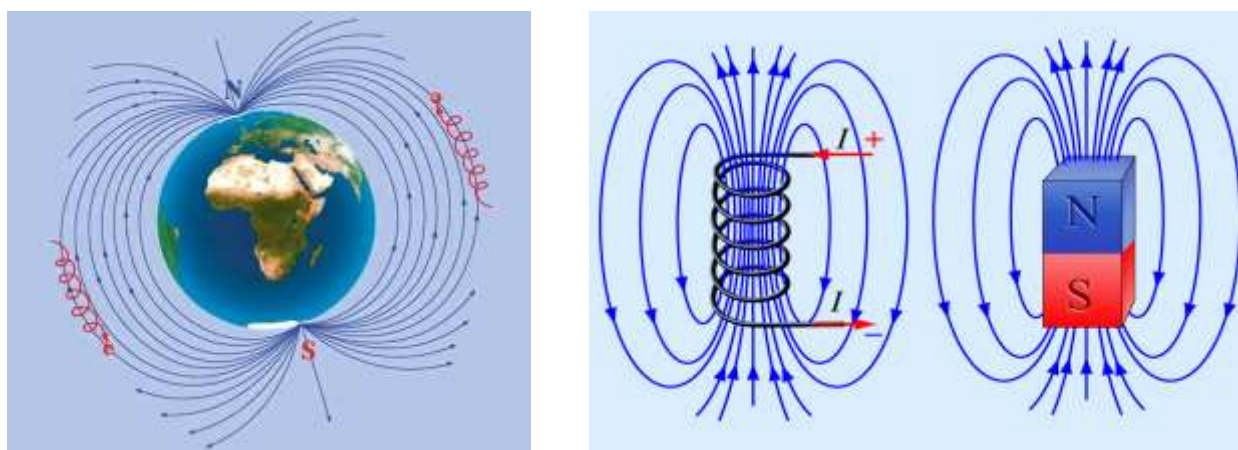


Рисунок 3 Магнитное поле Земли, магнитный диполь

В результате этого процесса образовались радиационные пояса – внутренние области магнитосферы, в которых магнитное поле планеты удерживает протоны и электроны, обладающие большой кинетической энергией (рисунок 4). В этих поясах частицы под действием магнитного поля движутся по сложным траекториям из Северного полушария в Южное и обратно.

При столкновении энергичных частиц плазменного слоя с верхней атмосферой происходит возбуждение атомов и молекул газов, входящих в её состав. Излучение возбуждённых атомов в видимом диапазоне наблюдается как полярное сияние.

Заметное влияние на магнитное поле на поверхности Земли оказывают токи в ионосфере. Ионосфера (многокомпонентная плазма), то есть верхние слои атмосферы, от 50 - 85 км до 600 км, характеризуются значительным содержанием атмосферных ионов и свободных электронов. Плазма удерживается магнитным полем Земли. Ионосфера оказывает большое влияние на распространение радиоволн. Так, длинные и сверхдлинные волны

практически не проникают в ионосферу, отражаясь от её нижней границы, которая является как бы стенкой сферического радиоволновода (второй стенкой волновода служит Земля).

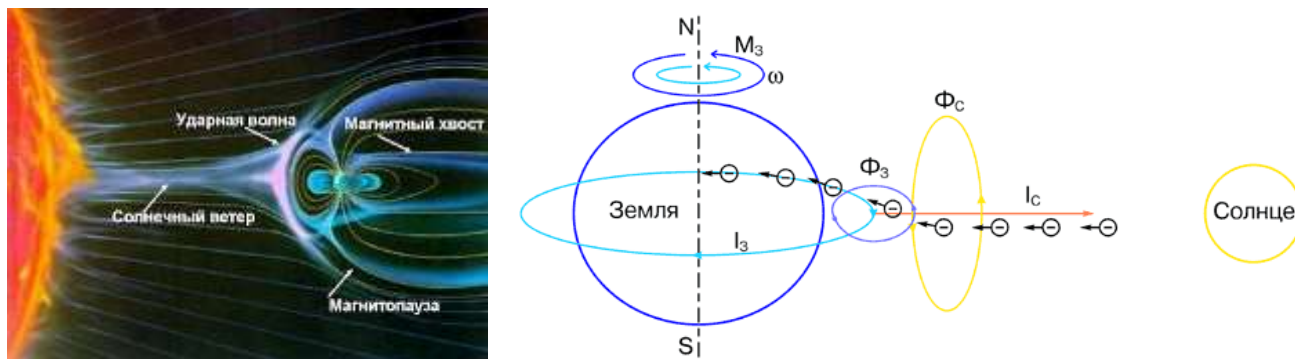


Рисунок 4 Схема взаимодействия Солнце-Земля:

(-) – поток заряженных частиц; I_c – ток Солнца; I_z – круговой ток Земли; M_B – момент вращения Земли; ω – угловая скорость Земли; Φ_z – магнитный поток, создаваемый полем Земли; Φ_c – магнитный поток, создаваемый током солнечного ветра.

Начиная с УКВ волны, частота которых выше максимально применимой частоты (МПЧ), проходят через ионосферу. Волны, частота которых ниже МПЧ, отражаясь от ионосферы, возвращаются на Землю. Такие радиоволны называются ионосферными, используются для дальней радиосвязи на Земле. Диапазон ионосферных волн снизу по частоте ограничен поглощением. Поэтому связь при помощи ионосферных волн осуществляется в диапазоне коротких волн и в ночные часы (уменьшается поглощение) в диапазоне средних волн. Связь на большие расстояния осуществляется за счёт нескольких отражений от ионосферы (рисунок 5).

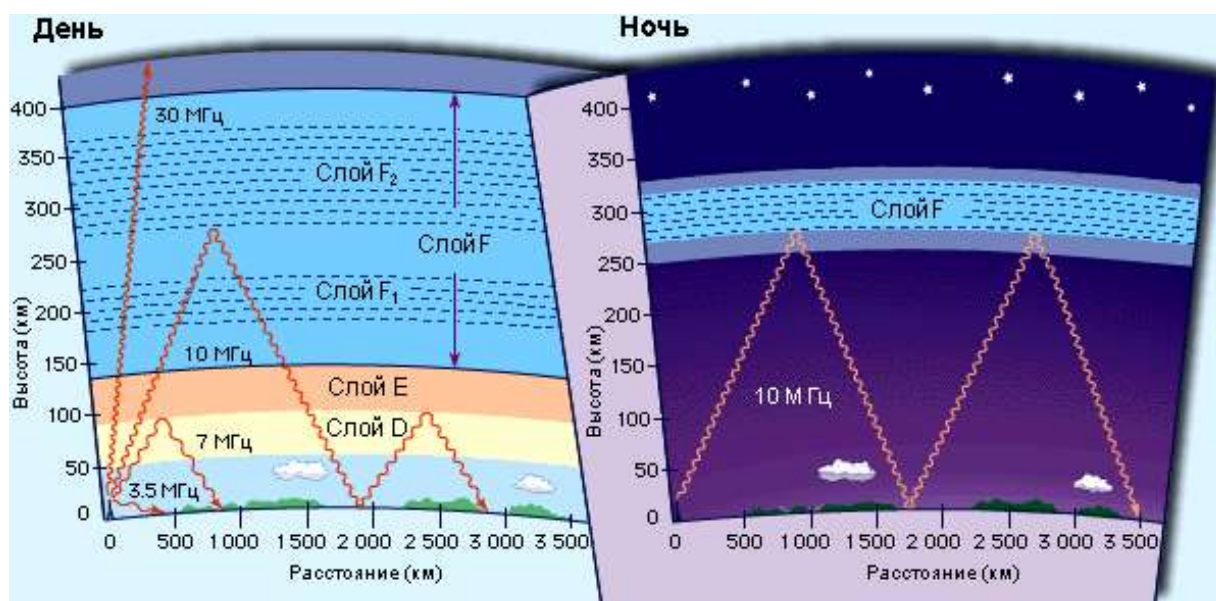


Рисунок 5 Распространение радиоволн

Кроме того, наблюдается зависимость качества радиосвязи от интенсивности полярных сияний. В моменты разгорания полярных сияний

(рисунок 6) коротковолновая радиосвязь в Арктике и Антарктике, резко ухудшается, а длинноволновая улучшается.



Рисунок 6 Полярное сияние

В результате попадания в околоземное пространство заряженных частиц, при солнечных вспышках происходит существенное уменьшение горизонтальной компоненты магнитного поля Земли. Это явление носит название геомагнитных бурь. Во время таких бурь наблюдаются полярные сияния и происходит нарушение радиосвязи.

Так, в 1859 году из-за аномальной солнечной активности на Земле была нарушена работа телеграфа. В последнее время несколько магнитных бурь вызывали нарушения в работе электроники и систем энергоснабжения. В 1989 году из-за бури остановилась электростанция в Канаде, провинция Квебек на девять часов осталась без электроэнергии. В 1997 году буря на время вывела из строя телекоммуникационный спутник AT&T Telstar 401, еще через год отказал спутник Galaxy IV, который входит в систему диспетчерской службы авиакомпании Pan American. В 2000 году из-за бури была потеряна связь сразу с несколькими спутниками.

Таким образом, информация о состоянии магнитного поля Земли имеет важное значение для систем радиосвязи, навигации, для здравоохранения.

Содержание работы

Для измерения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли используют прибор, который называется тангенс-гальванометр (рисунок 7). Он состоит из нескольких кольцевых витков провода (катушки), через который пропускают постоянный электрический ток. Этот ток создает вокруг себя магнитное поле.

Найдем магнитное поле в центре катушки. Поскольку для одного витка напряженность составляет $\vec{H} = \frac{I}{2R}$ (I – сила тока в витке, а R – его радиус) то для катушки напряженность поля надо умножить на число витков N :

$$\vec{H}_k = N \frac{I}{2R} \quad (4)$$

Магнитное поле направлено перпендикулярно плоскости витков, как показано на рисунке 7. Если в центре катушки расположить компас (магнитную стрелку) так, что при выключенном токе ее направление будет совпадать с плоскостью витков, то вектора напряженностей магнитного поля Земли и поля, создаваемого катушкой, будут направлены перпендикулярно.

Их векторная сумма \vec{H} укажет направление магнитного поля в центре катушки. В результате магнитная стрелка будет показывать направление вектора \vec{H} . Измеряя угол α между направлением на север и вектором \vec{H} и зная магнитное поле \vec{H}_k , создаваемое катушкой, можно найти \vec{H}_3 .

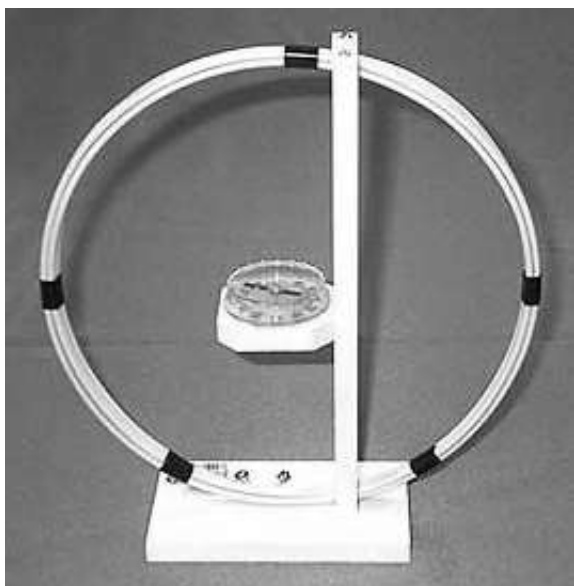


Рисунок 7 Тангенс-гальванометр

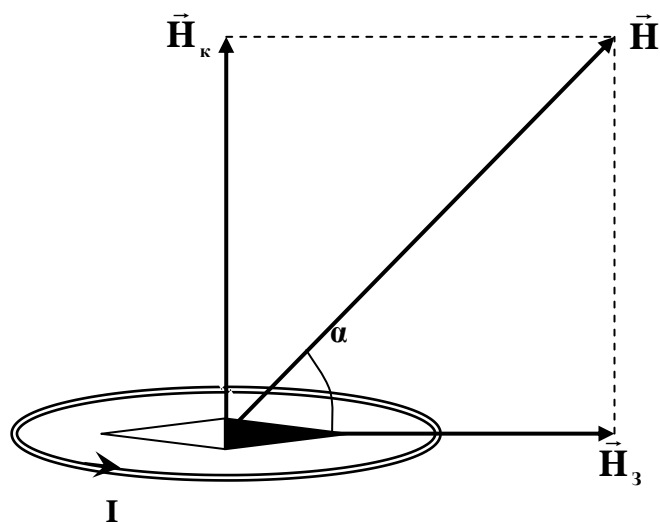


Рисунок 8
Сложение напряженностей МП

Как видно на рисунке 8, зная \vec{H}_k , из прямоугольного треугольника $H_3 = \frac{H_k}{\text{tg } \alpha}$. Отсюда:

$$H_3 = \frac{NI}{2R \operatorname{tg} \alpha} \quad (5)$$

Проведя серию из нескольких экспериментов и определив среднее арифметическое \bar{H}_3 , погрешность найдем по формуле:

$$\Delta H_3 = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta H_i|}{n} \quad (6)$$

Порядок выполнения работы

- 1 Собрать схему согласно рисунку 9.

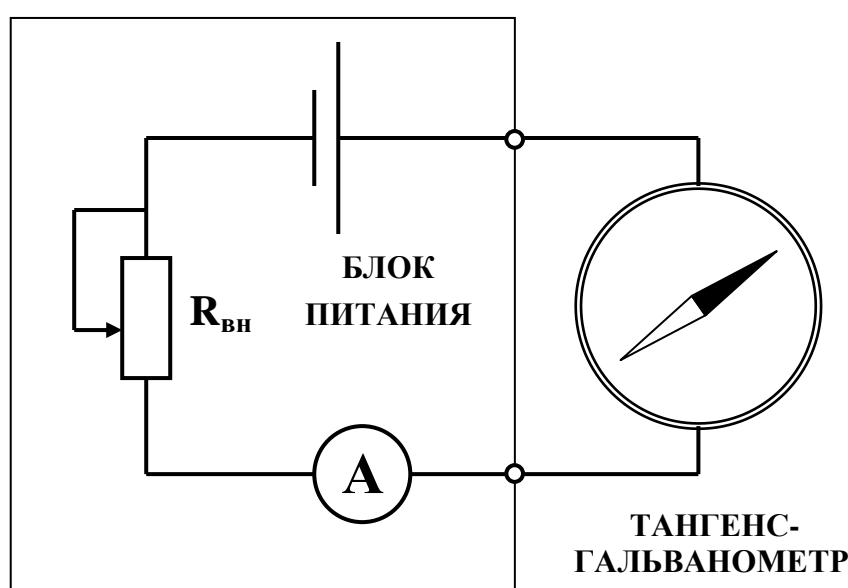


Рисунок 9 Схема установки

- 2 Установить тангенс-гальванометр таким образом, чтобы плоскость витков совпадала с направлением магнитного поля Земли (с направлением магнитной стрелки). Помещая прибор в различные точки лаборатории выяснить, везде ли магнитная стрелка показывает одинаковое направление. Выбрать место для проведения измерений.
- 3 Установить указатель на лимбе так, чтобы он находился в плоскости витков (на 0°) и совпадал с направлением магнитной стрелки (магнитным меридианом).
- 4 Перед включением установки в сеть необходимо проверить заземление блока питания, наличие диэлектрического коврика.
- 5 Включить блок питания. Для этого необходимо:

ЭТО ВАЖНО!!!

- Проверить, что регулировочные рукоятки «U» и «I» («грубо» и «фино») находятся в крайнем левом положении.
- Включить прибор в сеть.
- Включить тумблер «сеть».

ЭТО ВАЖНО!!!

- Установить прибор в режим источника тока (поясните, для чего). Для этого рукоятку «напряжение» необходимо поворачивать до тех пор, пока не загорится светодиод «сила тока». Теперь источник тока готов к работе.
 - Выключение блока питания производится в обратном порядке.
- 6 Установить указатель на лимбе так, чтобы угол его отклонения от магнитного меридиана был равен 25° .
 - 7 Плавно увеличивая силу тока, добиться того, чтобы магнитная стрелка совпала с указателем. Произвести измерения силы тока и записать результаты измерений в таблицу 1.

Таблица 1

№	α°	I, А	$\text{tg } \alpha$	$H_3, \text{ А/м}$	$H_{\text{cp}}, \text{ А/м}$	$ \Delta H_3 , \text{ А/м}$	$\Delta H_{\text{cp}}, \text{ А/м}$
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							

- 8 Провести аналогичные измерения (пункты 6, 7) в интервале $25^\circ - 60^\circ$ с шагом 5° .
- 9 Выключить блок питания (см. пункт 5).
- 10 Вычислить напряженность горизонтальной составляющей магнитного поля Земли H_3 по формуле (5).
- 11 Найти среднее арифметическое H_3
- 12 Найти погрешность измерений ΔH_{cp} по формуле (6).
- 13 Записать результаты измерений в виде $H_3 = (H_{\text{cp}} \pm \Delta H_{\text{cp}}) \dots$
- 14 Дать ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1 Чем создается магнитное поле?
- 2 Какова природа магнитного поля Земли?
- 3 Какова роль ионосферы в распространении радиоволн?
- 4 Почему во время полярных сияний коротковолновая радиосвязь в полярных областях ухудшается, а длинноволновая улучшается?
- 5 Какое явление называют геомагнитной бурей и как оно влияет на системы связи?
- 6 Какие Вы знаете явления, связанные наличием у Земли магнитного поля?
- 7 Почему в данном эксперименте магнитная стрелка отклоняется от магнитного меридиана? От чего зависит угол ее отклонения?
- 8 Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа. Как определить направление вектора магнитной индукции?
- 9 Сформулируйте принцип суперпозиции магнитных полей.
- 10 Как связаны между собой вектор магнитной индукции и вектор напряженности магнитного поля?
- 11 В каких единицах они измеряются?
- 12 Дайте определение магнитной проницаемости вещества. Чему равна магнитная проницаемость воздуха?
- 13 Запишите выражение для силы Лоренца. Как определить ее направление? На какие объекты она воздействует?
- 14 Запишите выражение для силы Ампера. Как определить ее направление? На какие объекты она воздействует?
- 15 Куда направлен вектор магнитной индукции в центре кольцевого проводника с током?

Литература

- 1 Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики: у трьох кн.: навчальний посібник – К: Вища школа, 2003.
- 2 Лопатинський І.Є., Зачек І.Р. та ін. Курс фізики: підручник – Львів: Афіша, 2003.
- 3 Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики: у трьох томах: навч. посібник для студентів технічних і педагогічних спеціальностей ВНЗів – К: «Техніка» 2009.
- 4 Каліберда Л.М. Курс фізики: навч. посібник – Харків: «Компанія СМІТ», 2005.