

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Могилевский государственный университет продовольствия»

Кафедра физики

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Методические указания

к выполнению лабораторной работы №14 по разделу «Электричество и магнетизм» курса физики для студентов всех специальностей

Могилев 2011

УДК 533.1
Рассмотрены и утверждены
на заседании кафедры физики
Протокол №3 от 27.11.10

Составитель: канд. физ.-мат. наук, доцент Скапцов А.С.

Рецензент: доктор физ.-мат. наук, ст.н.с-к Юревич В.А.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Цель работы: изучение магнитного поля, создаваемого круговым проводником с током; определение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли

Приборы и принадлежности: тангенс-гальванометр, амперметр, реостат, источник постоянного тока, однополюсный ключ.

ВВЕДЕНИЕ

Характеристиками магнитного поля являются вектор магнитной индукции (\vec{B}) и вектор напряженности магнитного поля (\vec{H}). Для однородной изотропной среды указанные характеристики связаны соотношением

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}, \quad (1)$$

где μ – магнитная проницаемость среды; μ_0 – магнитная постоянная (Гн/м). Единицей измерения магнитной индукции в системе СИ является тесла (Тл), напряженности – А/м.

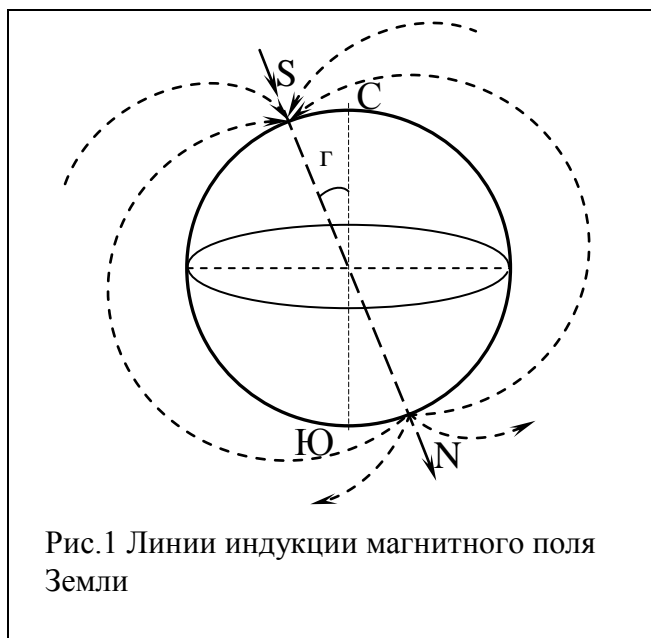


Рис.1 Линии индукции магнитного поля Земли

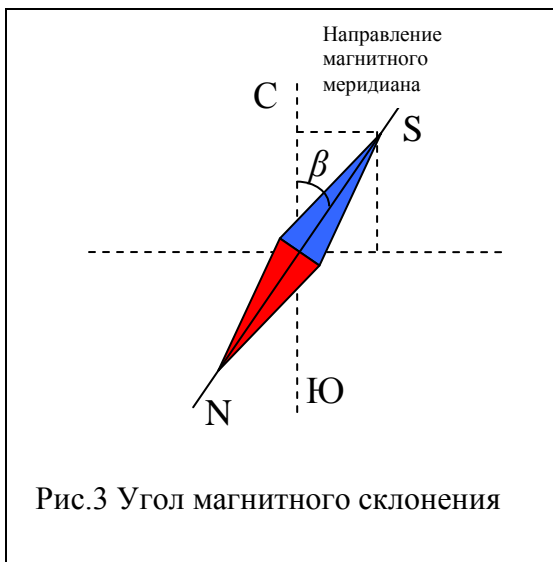
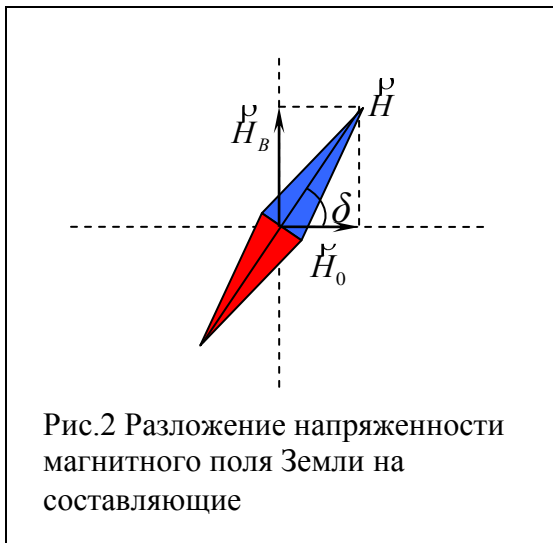
Для графического представления магнитных полей используют линии магнитной индукции – линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора магнитной индукции. Направление линий индукции определяется правилом правого винта (правилом буравчика). В отличие от линий напряженности электростатического поля, которые начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных, линии магнитной индукции всегда замкнуты,

поскольку свободных магнитных зарядов не существует.

Планета Земля обладает собственным магнитным полем. Две точки Земли, в которых линии магнитной индукции направлены вертикально вверх, называют магнитными полюсами. Происхождение магнитного поля планеты до сих пор точно не выяснено, существует лишь ряд гипотез о его природе. Известно, что наличие магнитного поля у Земли является одним из решающих факторов существования привычных нам форм жизни на планете. В своем вращении вокруг Солнца Земля проходит сквозь потоки заряженных высокоэнергетических микрочастиц, которые содержатся в космических лучах. Магнитное поле планеты посредством фундаментальной силы Лоренца особым образом действует на движущиеся заряженные частицы, увлекая их во вращательное движение. Поэтому губительная для всего живого интенсивная космическая радиация удерживается на расстоянии от поверхности планеты (примерно на

высоте 80 – 90 км), образуя там так называемые радиационные пояса. На высоких широтах вблизи магнитных полюсов частицы из космических лучей способны достигать верхних слоёв атмосферы, ионизируя молекулы содержащихся в ней газов и обуславливая замечательное природное явление свечения атмосферы, известное как полярное сияние.

Географические и магнитные полюса планеты не совпадают. Южный магнитный полюс располагается на небольшом расстоянии от северного географического полюса, а северный магнитный полюс – вблизи южного географического (рис.1). Прямая, проходящая через магнитные полюса Земли, наклонена к земной оси на угол $\gamma=11,5^{\circ}$. Несовпадение географических и магнитных полюсов приводит к тому, что напряженность магнитного поля Земли на одной и той же широте в разных точках Земли неодинакова.



Линии индукции магнитного поля Земли замкнуты и направлены от северного магнитного полюса к южному. Вектор напряженности магнитного поля Земли на магнитных полюсах расположен вертикально к поверхности Земли, на экваторе – горизонтально, то есть лежит в плоскости параллельной поверхности Земли, а в остальных точках - он направлен под некоторым углом к земной поверхности. В последнем случае вектор напряженности можно разложить на две составляющие: горизонтальную (\vec{H}_0) и вертикальную (\vec{H}_B). Проекция вектора напряженности на горизонтальное направление называется горизонтальной составляющей магнитного поля Земли (\vec{H}_0). Направление горизонтальной составляющей принимается за направление магнитного меридиана, а вертикальная плоскость, в которой устанавливается магнитная стрелка, называется плоскостью магнитного меридиана. Угол δ между направлением магнитного поля Земли и горизонтальной плоскостью называется углом магнитного наклона (рис.2). Угол β между магнитным и географическим меридианами называется углом магнитного склонения (рис.3).

Если известны горизонтальная составляющая напряженности магнитного поля Земли \vec{H}_0 , а также углы магнитного наклона δ и магнитного склонения β , то можно определить полную напряженность магнитного поля в данной точке. При отсутствии внешних магнитных полей стрелка компаса

ориентируется по направлению магнитного меридиана Земли, причем отклонение стрелки определяется только горизонтальной составляющей магнитного поля.

Реальное магнитное поле в данной точке земной поверхности способно меняться под действием так называемого «солнечного ветра», т.е. потока заряженных частиц, движущихся от Солнца и попадающих в атмосферу Земли. Значительные колебания магнитного поля Земли называют магнитными бурями. Характер воздействия колебаний магнитного поля Земли на биологические объекты до конца не изучен и является одним из предметов исследования биофизики.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Вблизи проводника, по которому пропускается электрический ток, существует магнитное поле. Каждый элемент длины проводника с током в окружающем пространстве создает магнитное поле, индукция которого может быть рассчитана по закону Био-Савара-Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}, \quad (2)$$

где $d\vec{l}$ - вектор элемента длины проводника, совпадающий с направлением тока в проводнике; I - сила тока в проводнике; \vec{r} - радиус-вектор, проведенный от элемента длины проводника в рассматриваемую точку поля; r - модуль радиуса-вектора. Направление вектора индукции магнитного поля определяется по правилу векторного произведения, т.е. вектор $d\vec{B}$ направлен перпендикулярно плоскости, образованной векторами $d\vec{l}$ и \vec{r} , и образует с ними правый винт. Это направление может быть найдено и по правилу нахождения линий магнитной индукции (правило буравчика или правого винта): направление вращения головки винта показывает направление вектора $d\vec{B}$, если поступательное перемещение острия винта совпадает с направлением тока в проводнике. Скалярная форма выражения (2) имеет вид:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Idl \sin \alpha}{r^2}, \quad (3)$$

где α - угол между векторами $d\vec{l}$ и \vec{r} .

Закон Био-Савара-Лапласа может быть использован для расчета магнитного поля, создаваемого проводниками с током, в частности, магнитного поля в центре кругового проводника с током. Рассмотрим круговой проводник радиусом R , по которому течет ток силой I (см.рис.4). Все элементы кругового проводника с током создают в центре проводника магнитные поля одинакового направления - перпендикулярно

плоскости витка. Согласно принципу суперпозиции магнитных полей, результирующая индукция поля определяется как векторная сумма индукций

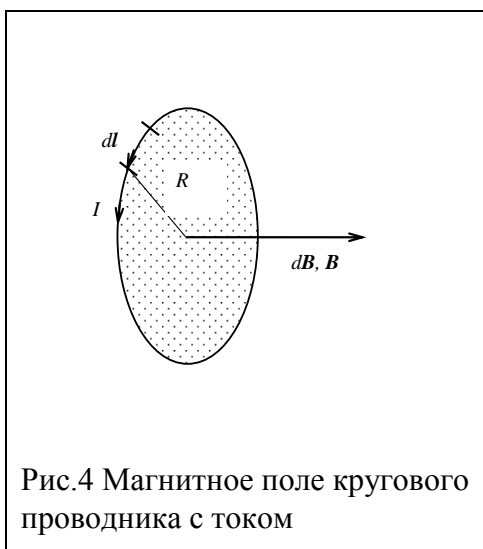


Рис.4 Магнитное поле кругового проводника с током

полей, создаваемых каждым из элементов в отдельности. Поскольку направления всех векторов $d\vec{B}$ одинаковы, то векторное суммирование можно заменить алгебраическим. Так как все элементы проводника перпендикулярны радиусу-вектору, то $\alpha = p/2$ и $\sin\alpha = 1$. Расстояние от каждого из элементов проводника до центра кругового витка одинаково и равно R . С учетом выше изложенного формула (3) примет вид:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Idl}{R^2}. \quad (4)$$

Интегрируем выражение (4) в пределах от 0 до $2\pi R$:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} \cdot 2\pi R = \mu\mu_0 \frac{I}{2R}. \quad (5)$$

Таким образом, индукция магнитного поля в центре кругового проводника с током может быть рассчитана по формуле:

$$B = \mu\mu_0 \cdot \frac{I}{2R}. \quad (6)$$

Помимо индукции характеристикой магнитного поля является напряженность \vec{H} . Связь между векторами \vec{B} и \vec{H} устанавливается соотношением (1). В скалярной форме это выражение можно переписать в виде:

$$B = \mu\mu_0 H. \quad (7)$$

Если формулу (7) подставить в (6), то получим выражение для расчета напряженности в центре кругового проводника с током:

$$H = \frac{I}{2R}. \quad (8)$$

Рассмотрим случай, когда магнитное поле создается катушкой, состоящей из N последовательно соединенных тонких круговых проводников. В центре такой катушки радиуса R напряженность магнитного поля может быть определена по принципу суперпозиции магнитных полей. Согласно этому принципу, если поле создается несколькими проводниками с током, то напряженность в произвольной точке пространства равна векторной сумме напряженности полей, создаваемых каждым из проводников в отдельности. Так как направление тока в проводниках совпадает, то одинаково направлены и вектора напряженности в центре всех круговых витков с током (перпендикулярно плоскости витков и образуют с направлением тока правый винт). Поэтому напряженность магнитного поля в центре катушки может быть рассчитана по формуле:

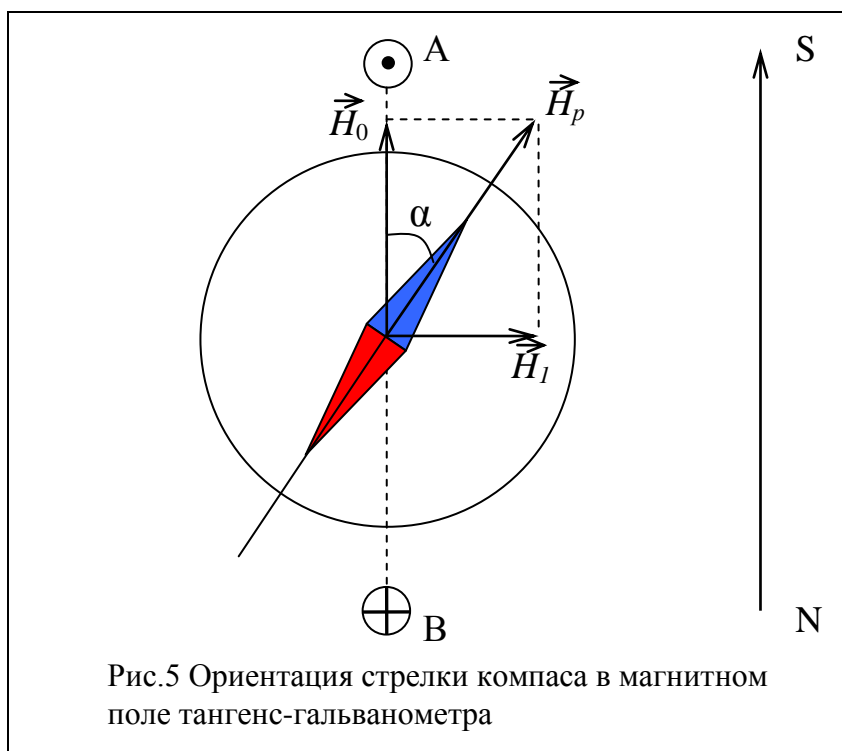
$$H = \frac{NI}{2R}. \quad (9)$$

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Основным элементом установки является тангенс-гальванометр, который представляет собой катушку, состоящую из нескольких последовательно соединенных круговых витков радиуса R , плоскость которых расположена вертикально. В центре катушки на горизонтальной подставке закреплен магнитный компас. При отсутствии тока в катушке стрелка компаса

располагается вдоль магнитного меридиана Земли NS (см.рис.3). Поворотом катушки вокруг вертикальной оси можно добиться совмещения плоскости катушки с плоскостью магнитного меридиана.

Если по катушке пропустить постоянный ток, то магнитная стрелка повернется на некоторый угол α . Объяснить поворот стрелки можно следующим образом. При пропускании тока в центре катушки возникает магнитное поле, вектор напряженности которого H_1 ориентирован перпендикулярно плоскости катушки и, соответственно, перпендикулярно плоскости магнитного меридиана (см. рис.5). Поле катушки накладывается на магнитное поле Земли (горизонтальная составляющая напряженности – H_0). Напряженность результирующего магнитного поля в центре витков определяется по принципу суперпозиции полей и образует некоторый угол α с направлением магнитного меридиана (рис.5). Магнитная стрелка компаса всегда ориентируется по направлению результирующего поля, поэтому при включении магнитного поля катушки и происходит поворот стрелки компаса на некоторый угол.



На рисунке 5 использованы следующие обозначения: NS – направление магнитного меридиана Земли, A и B – центральное сечение витка катушки горизонтальной плоскостью (вид сверху), α – угол отклонения стрелки от магнитного меридиана, H_p – результирующая составляющая напряженности магнитного поля Земли и катушки с током в центре тангенс-гальванометра.

Из прямоугольного треугольника, образованного векторами H_0 , H_1 и H_p (см. рис.5), можно определить горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли:

$$H_0 = \frac{H_1}{\operatorname{tg} \alpha} . \quad (10)$$

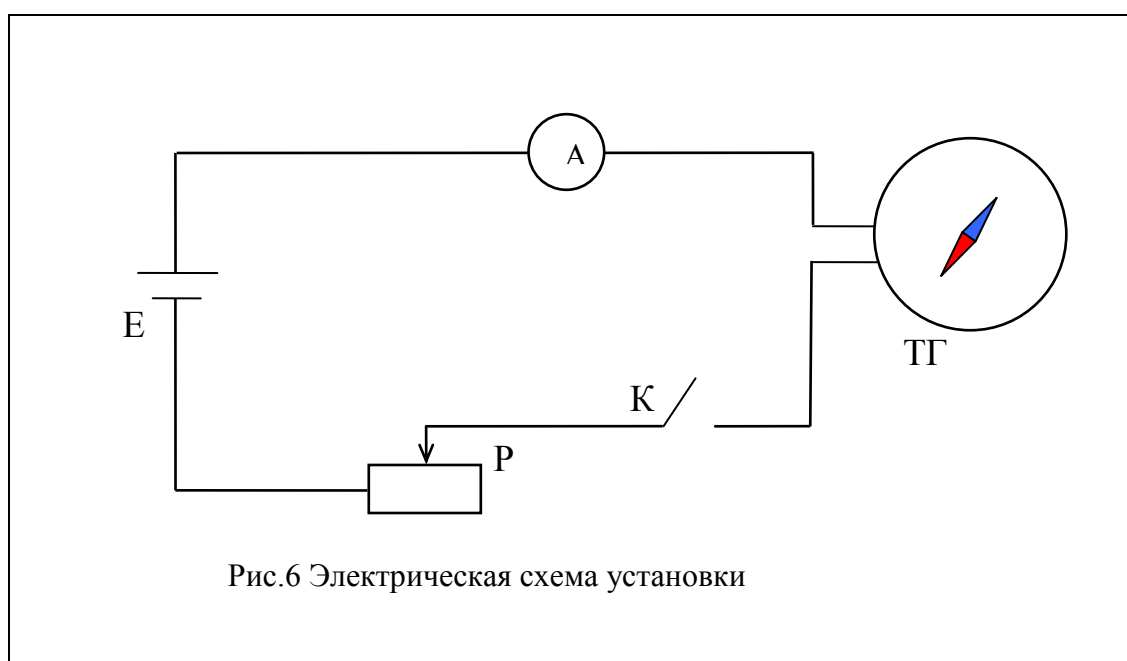
Подставляя в (10) значение H_1 , рассчитанное по формуле (9), получаем:

$$H_0 = \frac{NI}{2R \operatorname{tg} \alpha}. \quad (11)$$

Таким образом, измерив силу тока в проводнике I и угол отклонения магнитной стрелки компаса от направления магнитного меридиана Земли α , а также зная число витков N проводника в катушке и радиус витков R , по формуле (11) можно рассчитать горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать электрическую цепь, схема которой приведена на рис.6. На схеме использованы следующие обозначения: ТГ – тангенс-гальванометр, Р – реостат, Е – источник постоянного тока, А – амперметр, К – электрический двухполюсный ключ.



2. Поворачивая тангенс-гальванометр вокруг вертикальной оси, установить плоскость катушки в плоскости магнитного меридиана Земли (направление магнитного меридиана совпадает с направлением магнитной стрелки компаса).

3. Включить электрическую цепь путем замыкания ключа К и измерить величину силы тока амперметром.

4. Как только стрелка компаса установится в положение равновесия, определить по круговой шкале компаса угол отклонения стрелки от магнитного меридиана β_1 .

5. Разомкнуть ключ К. Соединительные провода в месте контактов на тангенс-гальванометре поменять местами. Это позволит изменить направление протекания тока в цепи без изменения величины тока.

6. Замкнуть ключ К, проверить значение силы тока, показываемое амперметром А (при неизменном положении движка или ручки реостата сила тока не должна измениться), и вновь измерить угол отклонения стрелки компаса от магнитного меридиана α'_1 .

7. Рассчитать среднее значение угла отклонения стрелки $\bar{b}_{cp.1}$ при данном значении тока, как среднее арифметическое значений \bar{b}_1 и α'_1 .

8. По формуле (11) рассчитать значение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли (радиус витков катушки R и число витков N указаны на тангенс-гальванометре).

9. Повторить пункты 3-8 **Порядка выполнения работы** еще два раза для различных значений силы тока. Величину тока следует менять положением движка или ручки реостата.

10. Рассчитать среднее арифметическое значение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли.

11. Результаты измерений занести в таблицу.

№ п/п	\bar{b}_1	α'_1	$\bar{b}_{cp.}$	I	H_0	$H_{0\text{ ср.}}$
1						_____
2						
3						

12. Рассчитать относительную ошибку определения горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли одного из опытов по формуле:

$$\varepsilon_{H_0} = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta\alpha}{\sin 2\alpha}\right)^2},$$

где ΔI - приборная ошибка измерения силы тока амперметром; ΔR - приборная погрешность измерения радиуса витков линейным измерительным инструментом (линейка, штангенциркуль), $\Delta\alpha$ - погрешность измерения угла поворота стрелки компаса, выраженная в радианах.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие физические величины используются в качестве характеристик магнитного поля? Назовите единицы их измерения.
2. Как связаны между собой векторы магнитной индукции и напряженности магнитного поля?
3. Что называют линиями индукции магнитного поля?
4. Каким правилом определяется направление линий индукции магнитного поля? Сформулируйте это правило.
5. Где расположены магнитные полюса Земли?
6. Как направлены линии индукции магнитного поля Земли?
7. Как ориентируется стрелка компаса в магнитном поле Земли при отсутствии внешних магнитных полей?
8. Запишите закон Био-Савара-Лапласа в векторной и скалярной формах.
9. Используя закон Био-Савара-Лапласа, выведите формулу для расчета магнитной индукции и напряженности в центре кругового проводника с током.
10. Сформулируйте принцип суперпозиции магнитных полей.
11. По какой формуле можно рассчитать напряженность магнитного поля в центре круговой катушки с током?

12. Объясните, почему при пропускании тока через катушку тангенс-гальванометра стрелка компаса отклоняется от магнитного меридиана.
13. Если плоскость тангенс-гальванометра расположить перпендикулярно магнитному меридиану Земли, то как следует провести эксперимент, для того чтобы определить горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля Земли?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: ВШ, 2007.
2. Трофимова Т.И. Краткий курс физики. – М.: ВШ, 2007.
3. Цэдык М.С. Курс агульнай фізікі. - Мн.: ВШ, 1994.
4. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. - М.: Академия, 2005.

Учебное издание

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Методические указания

Составитель Скапцов Андрей Сергеевич,
канд. физ.-мат. наук, доцент

Редактор Т.Л. Матеуш

Технический редактор А.А. Щербакова

Подписано в печать Формат 60x84 1/16
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. 1,4 Уч.-изд. л. 1,5
Тираж 80 экз. Заказ

Учреждение образования
«Могилёвский государственный университет продовольствия».

212027, Могилёв, пр-т Шмидта, 3.

ЛИ №02330/0131913 от 08.02.2007.

Отпечатано на ризографе редакционно-издательского отдела
учреждения образования
«Могилёвский государственный университет продовольствия».

212027, Могилёв, пр-т Шмидта, 3.