

*МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра общей физики

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ**

Методические указания

к выполнению лабораторной работы по физике № 24
для студентов направлений (специальностей) 150200(150202),
280000(280100), 140000(140211), 190600(190601, 190603),
220300(220301), 200000(200503), 190200(190201, 190202),
151000(151001, 151002), 190600(190601), 050501,
260600(260601), 080000(080502), 190700(190702),
220000(220200)

Курган 2009

Кафедра «Общая физика»

Дисциплина: «Физика»
направлений 150200, 280000, 140000, 190600, 220300, 200000,
190200, 151000, 190600, 050501, 260600, 080000, 190700,
220000
специальностей 150202, 280100, 140211, 190601, 190603,
220301, 200503, 190201, 190202, 151001, 151002, 190601,
260601, 080502, 190702, 220200

Составил: доцент, канд. техн. наук Л.Ф. Глухова

Утверждены на заседании кафедры «24» февраля 2009г.

Рекомендованы методическим советом университета
«13» апреля 2009г.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Тангенс-гальванометр: $n=$; $R=$
2. Потенциометр
3. Амперметр $I_{пр} = \dots$, $C_0 = \dots$, кл.точности =
4. Источник постоянного тока
5. Переключатель

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Магнитные поля в природе разнообразны по масштабам и по вызываемым ими эффектам. Магнитное поле Земли, образующее земную магнитосферу, несимметрично. Оно простирается до расстояния в 70-80 тысяч километров в направлении к Солнцу и на многие миллионы километров в противоположном направлении.

Магнитное поле Земли до высот равных ≈ 3 радиусам Земли имеет дипольный характер. Диполем называется магнит, полюсы которого находятся очень близко друг к другу. Центр диполя смещен в Восточное полушарие от центра Земли на 430 км. Ось диполя образует с осью вращения Земли угол $11,5^\circ$. Силовые линии магнитного поля входят в планету (южный магнитный полюс) вблизи Северного географического полюса и выходят вблизи Южного географического полюса (северный магнитный полюс).

Таким образом, магнитная ось не только не совпадает с осью вращения Земли по направлению, но и не проходит через центр Земли; кроме того, величина индукции в Северном полушарии несколько больше, чем в Южном.

В некоторых областях на поверхности Земли реальное магнитное поле значительно отличается от дипольного. Такие области называются континентальными аномалиями. Их происхождение связано не с намагниченными слоями внутри Земли, а с самим процессом возникновения земного магнитного поля. Самая значительная из континентальных аномалий – так называемый Восточно-Сибирский овал – на востоке Азиатского материка.

Нарушают магнитное поле Земли и магнитные аномалии, которые создаются намагниченными телами, например, залежами различных руд железа.

Магнитное поле Земли в каждой точке характеризуется вектором магнитной индукции \vec{B}_3 .

Для описания магнитного поля используют три элемента земного магнетизма:

- 1) горизонтальную составляющую индукции магнитного поля B_2 ;
- 2) магнитное склонение – угол ($\Theta_{скл}$) между горизонтальной составляющей B_2 и плоскостью географического меридиана;
- 3) магнитное склонение – угол (Θ_n) между вектором индукции \vec{B}_3 и плоскостью горизонта.

Горизонтальная составляющая имеет наибольшую величину у экватора и равна нулю у магнитных полюсов.

$$B_z \approx (0 \div 40) \text{ мкТл}.$$

Вертикальная составляющая \vec{B}_v имеет наибольшую величину у полюсов и равна нулю у экватора:

$$B_\theta \approx (0 \div 70) \text{ мкТл}.$$

Как видим, индукция магнитного поля Земли невелика, но его значение велико, т.к. с магнитным полем связана не только навигация, но еще множество практических и научных задач – от поисков рудных месторождений до изучения внутреннего строения Земли.

Магнитное поле Земли находится во взаимодействии с потоком заряженных частиц, испускаемых в изобилии Солнцем, с так называемым солнечным ветром. Солнечный ветер представляет собой поток мчащихся со скоростью около 500 км/с частиц (протонов, электронов, ядер гелия, ионов кислорода, кремния, серы, железа). Такие потоки порождают сильное магнитное поле, которое взаимодействует с полем Земли, деформируя его, как это показано на рис.1. В окрестностях Земли столкновение потока частиц солнечного ветра с геомагнитным полем порождает стационарную ударную волну перед земной магнитосферой. Изменения интенсивности солнечного ветра, связанные со вспышками на Солнце, являются основной причиной возмущений геомагнитного поля и магнитосферы (магнитных бурь).

Благодаря своему магнитному полю, Земля удерживает в так называемых радиационных поясах частицы солнечного ветра, не позволяя им проникать в атмосферу Земли и тем более к поверхности, где они были бы очень вредны для всего живого.

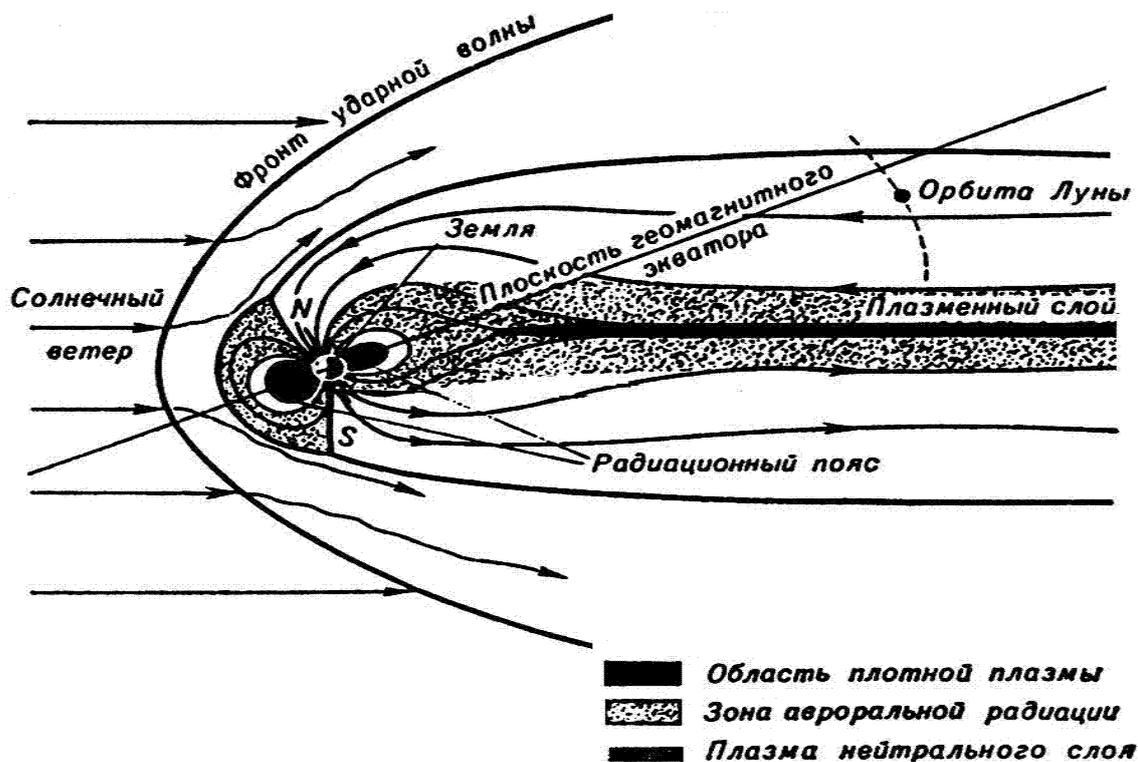


Рис. 1. Схема магнитного поля Земли

Проблема происхождения магнитного поля Земли до настоящего времени не может считаться окончательно решенной, хотя почти общепризнанной является гипотеза магнитного гидродинамо. Согласно этой гипотезе, происхождение магнитного поля Земли связано с конвективным движением проводящего жидкого вещества в земном ядре.

ТЕОРИЯ МЕТОДА И ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Магнитная стрелка, которая может вращаться лишь вокруг вертикальной оси, будет отклоняться в горизонтальной плоскости только под действием горизонтальной составляющей магнитного поля Земли (\vec{B}_2), которая меняется в пределах от 0 до 40 мкТл. Это свойство магнитной стрелки используется в тангенс гальванометре для определения B_2 .

Тангенс-гальванометр представляет собой плоскую вертикальную катушку радиуса R с некоторым числом витков n . В центре катушки расположена магнитная стрелка, которая вращается вокруг вертикальной оси и при отсутствии тока в катушке устанавливается в плоскости магнитного меридиана Земли NS. Поворотом катушки вокруг вертикальной оси можно добиться совмещения плоскости катушки с плоскостью магнитного меридиана. Если по катушке пропустить ток I , то возникнет поле с индукцией B_1 , направленной перпендикулярно плоскости катушки. Таким образом, на стрелку будут действовать магнитное поле Земли и магнитное поле катушки с током (рис. 2). Магнитная стрелка повернется на угол α и займет положение равновесия, при котором результирующая двух полей будет совпадать с линией, соединяющей полюса стрелки. На рис. 2 NS - направление магнитного меридиана Земли, A и C - сечения витка катушки горизонтальной плоскостью, \vec{B}_2 - вектор горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, \vec{B}_1 - вектор индукции магнитного поля катушки с током (направление \vec{B}_1 определяется по правилу буравчика).

Из рис. 2, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B_1}{B_2}, \quad (1)$$

откуда $B_2 = \frac{B_1}{\operatorname{tg} \alpha}$.

Величина индукции магнитного поля B_1 , созданного током в центре витка, вычисляется на основании закона Био-Савара-Лапласа.

Закон Био-Савара-Лапласа определяет индукцию магнитного поля $d\vec{B}$, созданного элементом проводника $d\vec{\ell}$ с током I в некоторой точке A с радиусом-вектором \vec{r} , проведенным от $I d\vec{\ell}$ в рассматриваемую точку:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I [d\vec{\ell}, \vec{r}]}{4\pi r^3}.$$

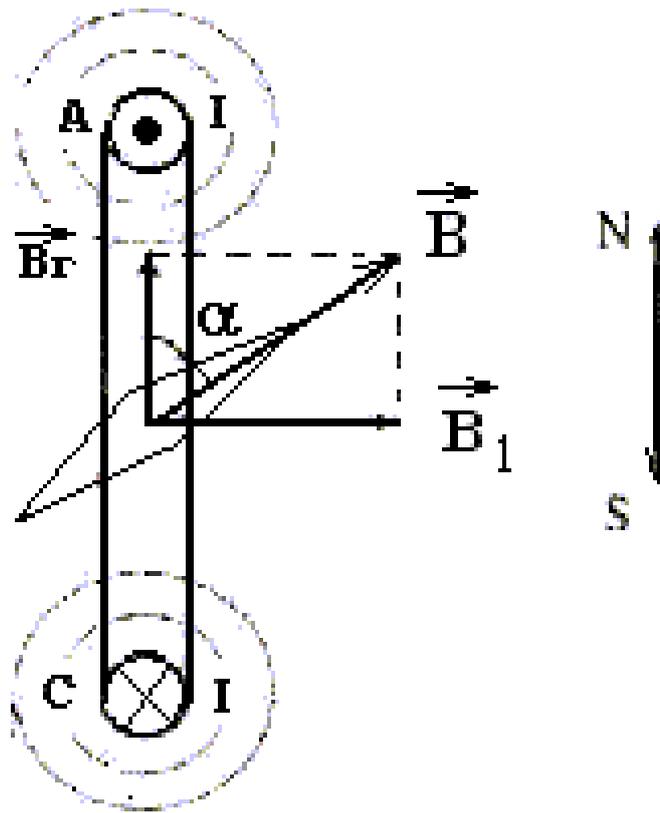


Рис. 2. Расположение катушки тангенс-гальванометра

Вектор $I d\vec{\ell}$ сонаправлен с направлением тока в данном элементе проводника. Вектор $d\vec{B}$ направлен в точке A перпендикулярно плоскости, в которой лежат вектора $I d\vec{\ell}$ и \vec{r} , так что из конца вектора $d\vec{B}$ поворот от $I d\vec{\ell}$ к \vec{r} по кратчайшему расстоянию виден, происходящим против часовой стрелки (рис 3).

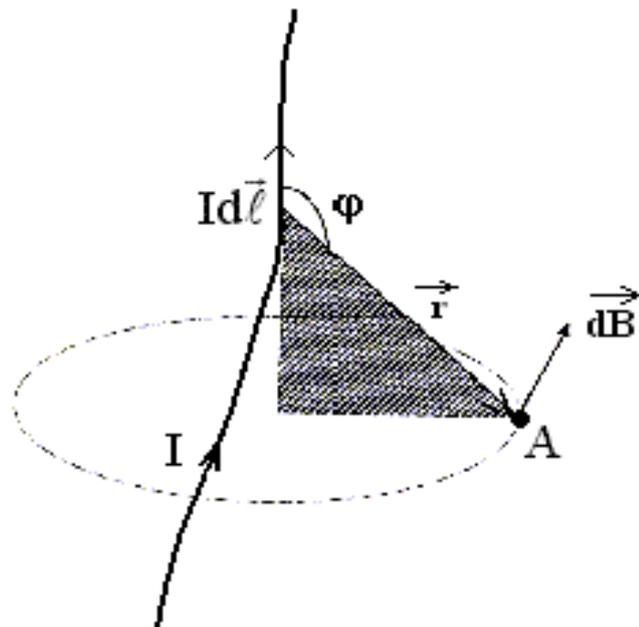


Рис. 3. Магнитное поле проводника с током

Модуль вектора dB определяется выражением

$$dB = \frac{\mu_0 I d\ell \sin \varphi}{4\pi r^2}, \quad (2)$$

где φ - угол между направлением элемента тока $Id\vec{\ell}$ и радиусом-вектором \vec{r} .

Вычислим индукцию магнитного поля кругового тока в центре витка радиуса R , используя принцип суперпозиции. Выберем элемент тока кругового проводника $Id\vec{\ell}$ (рис.4). Вектор индукции $d\vec{B}$ магнитного поля, созданного этим элементом в центре кругового проводника (точка O), направлен перпендикулярно плоскости витка (на нас). Угол $\varphi = \frac{\pi}{2}$. Для кругового проводника в его центре все элементы тока дают вклад одинакового направления в магнитное поле, а именно, вдоль нормали к плоскости витка. Поэтому сложение векторов $d\vec{B}$ можно заменить сложением их модулей. Так как все элементы кругового проводника перпендикулярны радиус-вектору ($\sin \varphi = 1$) и расстояние от элементов проводника до центра кругового тока одинаково и равно радиусу витка R , то согласно (2)

$$dB = \frac{\mu_0 I d\ell}{4\pi R^2}. \quad (3)$$

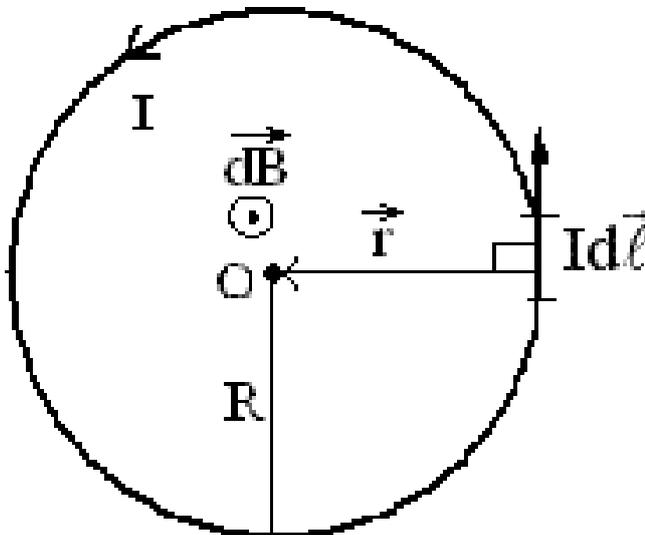


Рис. 4. Магнитное поле в центре кругового тока

Тогда магнитная индукция результирующего поля в центре витка равна

$$B_1 = \int dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi R^2} \int_0^{2\pi R} d\ell = \frac{\mu_0 I}{2R}. \quad (4)$$

Из (1) и (4) находим горизонтальную составляющую индукции магнитного

поля Земли

$$B_z = \frac{\mu_0 \cdot I}{2R \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (5)$$

Если тангенс-гальванометр имеет n витков, то

$$B_z = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot n}{2R \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (6)$$

В системе СИ за единицу индукции принимается 1Тл.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Соберите электрическую цепь из тангенс-гальванометра G , амперметра A , потенциометра Π , ключа-переключателя K и источника тока ε (рис.5).

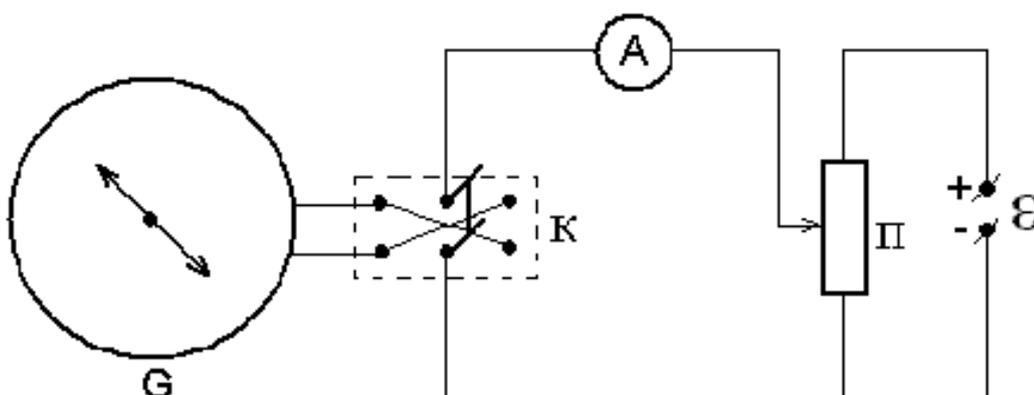


Рис. 5. Схема электрической цепи

2. Поворачивая тангенс-гальванометр, установите плоскость катушки прибора в плоскости магнитного меридиана так, чтобы один конец стрелки совпал с 0^0 круговой шкалы.

3. После замыкания переключателя K установите ток $0,2$ А с помощью потенциометра Π .

4. Как только магнитная стрелка придет в равновесие, считайте по лимбу угол отклонения α_1 .

5. Повторите опыт для токов $0,3$ А, $0,4$ А и запишите результаты наблюдений в табл. 1.

Таблица 1

№	Сила тока в катушке I(A)	Угол отклонения		$\langle \alpha \rangle$	B_r мкТл	$\langle B_r \rangle$ мкТл
		α_1	α_2			
1	0,2					
2	0,3					
3	0,4					

- Выведите потенциометром ток на 0.
- Переключателем К измените направление тока в тангенсгальванометре.
- Проделайте п.3,4,5 для измененного направления тока и запишите значения α_2 в табл. 1.
- Вычислите среднее арифметическое $\langle \alpha \rangle$ для каждого тока.
- По формуле (6) рассчитайте для каждого тока горизонтальную составляющую индукции магнитного поля Земли B_z и ее среднее значение $\langle B_z \rangle$.
- Вычислите относительную погрешность измерений для одного из опытов по формуле:

$$\gamma_{\langle B_z \rangle} = \frac{\delta B_z}{\langle B_z \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\delta I}{\langle I \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\delta R}{\langle R \rangle}\right)^2 + \left(\frac{2\delta\alpha}{\sin 2\alpha}\right)^2},$$

где $\langle I \rangle$ - величина тока в данном опыте;

δI - погрешность измерения силы тока;

$R = (0,200 \pm 0,001) \text{ м}$ - радиус катушки, $\delta R = 0,001 \text{ м}$;

α - угол отклонения магнитной стрелки в данном опыте;

$\delta\alpha$ - погрешность измерения угла отклонения α , выраженная в радианах ($1^\circ = 0,0175 \text{ рад}$).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Каковы элементы земного магнетизма?
- Что характеризуют векторы магнитной индукции и напряженности магнитного поля?
- Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа.
- Выведите формулу индукции магнитного поля в центре кругового тока.
- Объясните устройство и принцип действия тангенс-гальванометра.
- Как влияет магнитное поле Земли на движение заряженных космических частиц в нашей атмосфере?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Детлаф А.А., Яворский В.М. Курс физики. - 4 изд., испр. - М.: Издательский центр «Академия», 2003.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высшая школа, 2003.
3. Белов К.П., Бочкарев Н.Г. Магнетизм на земле и в космосе. - М.: Наука, 1983.

Глухова Людмила Федоровна

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Методические указания

к выполнению лабораторной работы по физике № 24
для студентов направлений (специальностей) 150200(150202),
280000(280100), 140000(140211), 190600(190601, 190603),
220300(220301), 200000(200503), 190200(190201, 190202),
151000(151001, 151002), 190600(190601), 050501,
260600(260601), 080000(080502), 190700(190702),
220000(220200)

Редактор Н.М. Устюгова

Подписано к печати	Печать трафаретная	Бумага тип № 1
Формат 60x84 1/16	Усл.печ.л. 1,0	Уч. - изд. л. 1,0
Заказ	Тираж 200	Цена свободная

РИЦ Курганского государственного университета.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.