

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.8

### Магнитное поле

Ознакомьтесь с конспектом лекций и учебником [1], §109, 110. Запустите программу. Выберите «Электричество и магнетизм» и «Магнитное поле прямого тока». Если вы забыли, как работать с системой компьютерного моделирования, прочитайте ВВЕДЕНИЕ, с.5 еще раз.

Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Составьте конспект. Закройте внутреннее окно, нажав кнопку с крестом справа вверху этого окна, и вызовите сначала эксперимент «Магнитное поле витка с током», а затем «Магнитное поле соленоида». Прочитайте и запишите в свой конспект необходимые краткие теоретические сведения.

#### Цель работы

- Знакомство с моделированием магнитного поля от различных источников.
- Экспериментальное подтверждение закономерностей для магнитного поля прямого провода и кругового витка (контур) с током.
- Экспериментальное определение величины магнитной постоянной.

#### Краткая теория

Магнитным полем (МП) называется форма материи, посредством которой осуществляется силовое взаимодействие между электрическими токами, между токами и магнитами и между магнитами. Магнитное поле создается движущимися электрически заряженными частицами (зарядами).

Если вблизи одной движущейся заряженной частицы (заряда №1) будет находиться вторая движущаяся с такой же скоростью  $v$  заряженная частица (заряд №2), то на второй заряд будут действовать 2 силы: электрическая (кулоновская)

$\vec{F}_{\text{Эл}}$  и магнитная сила  $\vec{F}_{\text{М}}$ , которая будет меньше электрической в  $\left(\frac{v}{c}\right)^2$  раз, где  $c$  – скорость света.

Для практически любых проводов с током выполняется принцип квазинейтральности: несмотря на наличие и движение заряженных частиц внутри проводника, любой (не слишком малый) его отрезок имеет нулевой суммарный электрический заряд. Поэтому между обычными проводами с током наблюдается только магнитное взаимодействие.

**МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ** - характеристика силового действия МП на проводник с током. Это векторная величина, обозначаемая символом  $\vec{B}$ .

**ЛИНИИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ** - линии, в любой точке которых вектор индукции МП направлен по касательной.

Анализ взаимодействия движущихся зарядов с учетом эффектов теории относительности (релятивизма) дает выражение для индукции  $d\vec{B}$  МП, создаваемого элементарным отрезком  $d\vec{L}$  с током  $I$ , расположенным в начале координат (закон Био-Савара-Лапласа или Б-С-Л):

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} [d\vec{L}, \vec{e}_r],$$

где  $\vec{r}$  - радиус-вектор точки наблюдения;  $\vec{e}_r$  - единичный радиус-вектор, направленный в точку наблюдения;  $\mu_0$  - магнитная постоянная.

В отношении МП действует принцип суперпозиции: индукция МП нескольких источников равна сумме индукций полей, создаваемых независимо каждым источником

$$\vec{B}_{\text{СУМ}} = \sum_i \vec{B}_i.$$

Циркуляцией вектора  $\vec{B}$  по произвольному замкнутому контуру называется интеграл по этому контуру от скалярного произведения индукции МП на элемент контура

$$\Gamma_B = \oint_{L_0} \vec{B} d\vec{L}.$$

ТЕОРЕМА О ЦИРКУЛЯЦИИ ВЕКТОРА МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ: циркуляция вектора  $\vec{B}$  по произвольному замкнутому контуру  $L_0$  пропорциональна алгебраической (т.е., с учетом знаков) сумме токов, которые охватывает этот контур  $L_0$ .

$$\Gamma_{0B} = \oint_{L_0} \vec{B} d\vec{L} = \mu_0 \sum_j I_j.$$

Закон Б-С-Л и принцип суперпозиции МП позволяют получить многие другие закономерности, в частности индукцию магнитного поля прямого бесконечно длинного проводника с током

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$

Линии магнитной индукции поля прямого проводника с током представляют собой концентрические окружности, лежащие в плоскостях, перпендикулярных проводнику, с центрами, расположенными на его оси.

Индукция МП на оси кругового контура (витка) радиуса  $R$  с током  $I$  на расстоянии  $r$  от центра (рис.1):

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{p}_M}{(R^2 + r^2)^{3/2}},$$

где  $\vec{p}_M = IS\vec{e}_n$  - магнитный момент витка площадью  $S$ ;  $\vec{e}_n$  - единичный вектор нормали к плоскости витка.

Соленоидом называется длинная прямая катушка с током. Величина индукции МП вблизи центра соленоида вдали от его концов меняется очень мало. Такое поле можно считать практически однородным.

Из теоремы о циркуляции вектора  $\vec{B}$  можно получить формулу для индукции МП в центре соленоида  $B = \mu_0 In$ , где  $n$  - число витков, приходящихся на единицу длины соленоида.

### Методика и порядок измерений

Закройте окно теории. Рассмотрите внимательно рис. 1-3, изображающие компьютерные модели. Найдите на них все основные регуляторы и поля эксперимента. Составьте конспект.

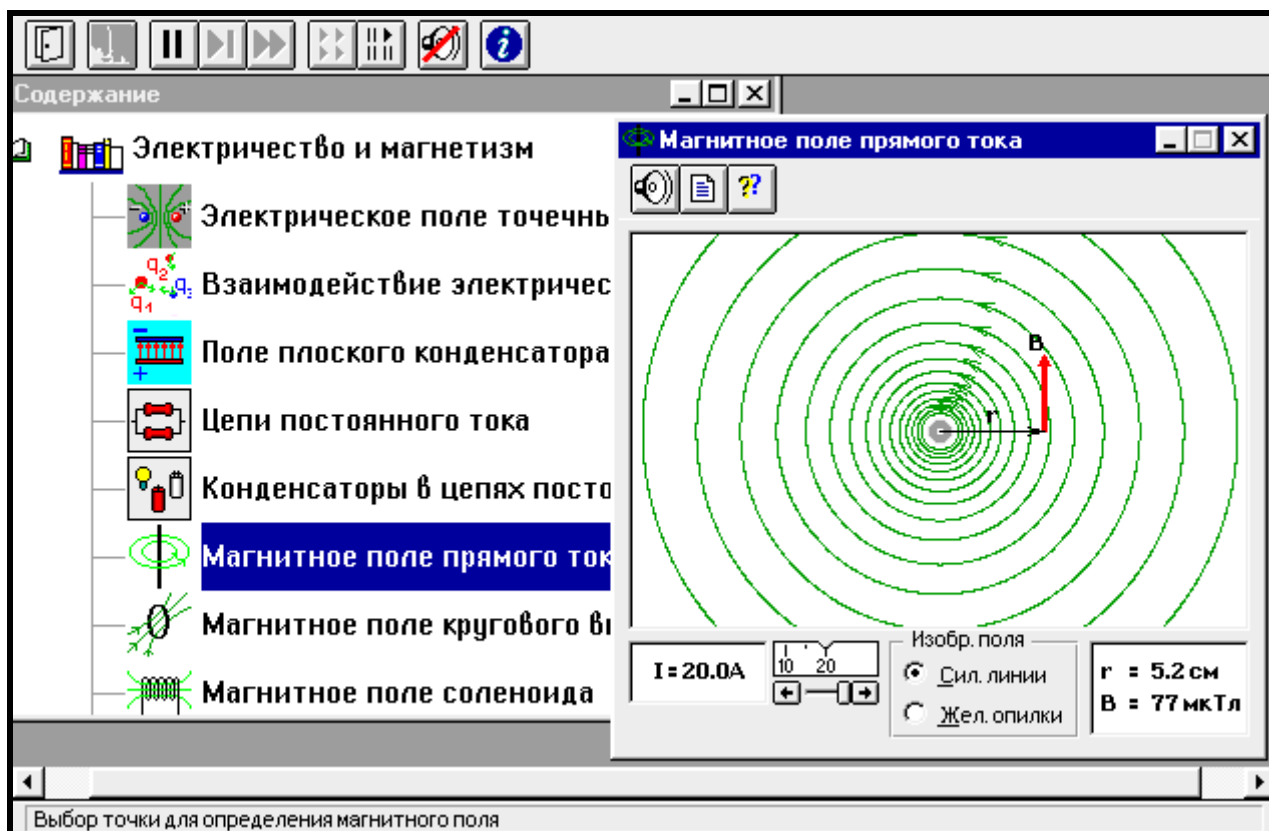


Рис. 1

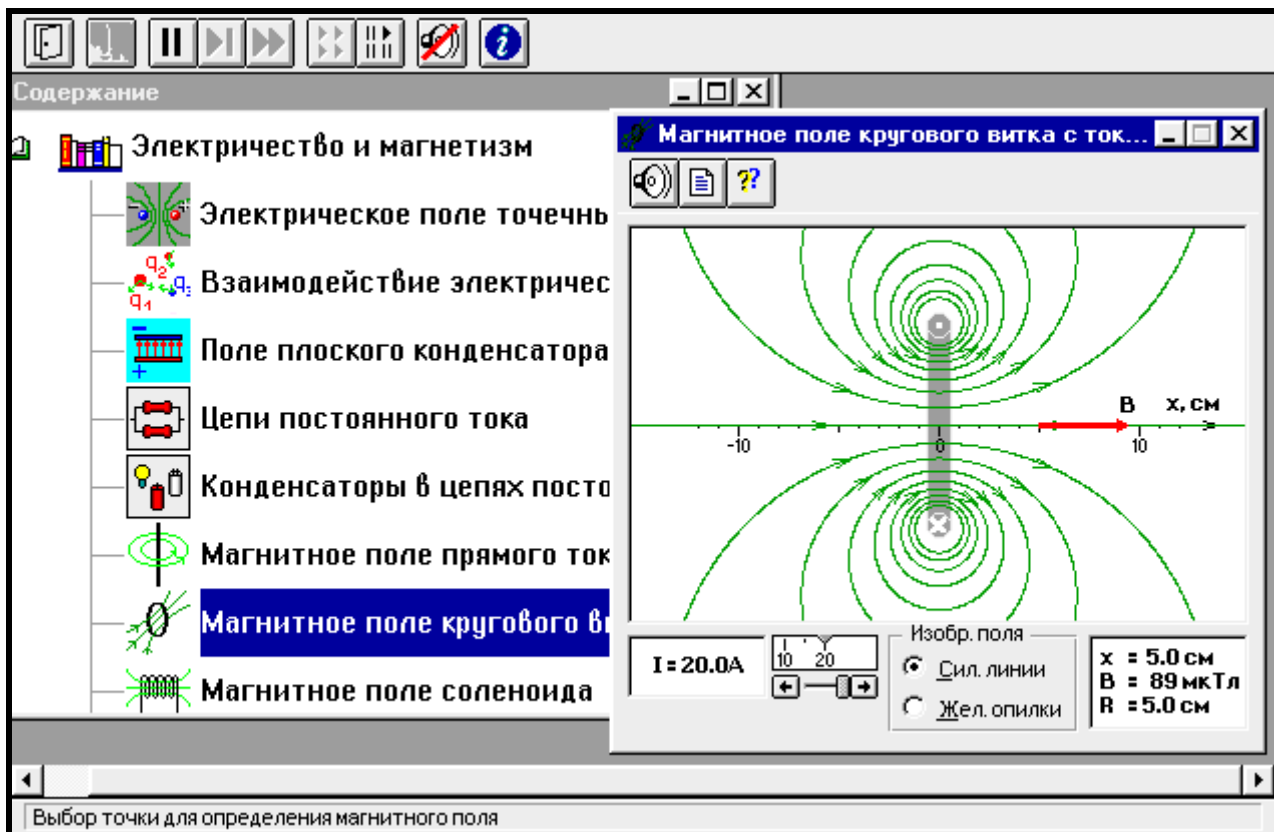


Рис. 2

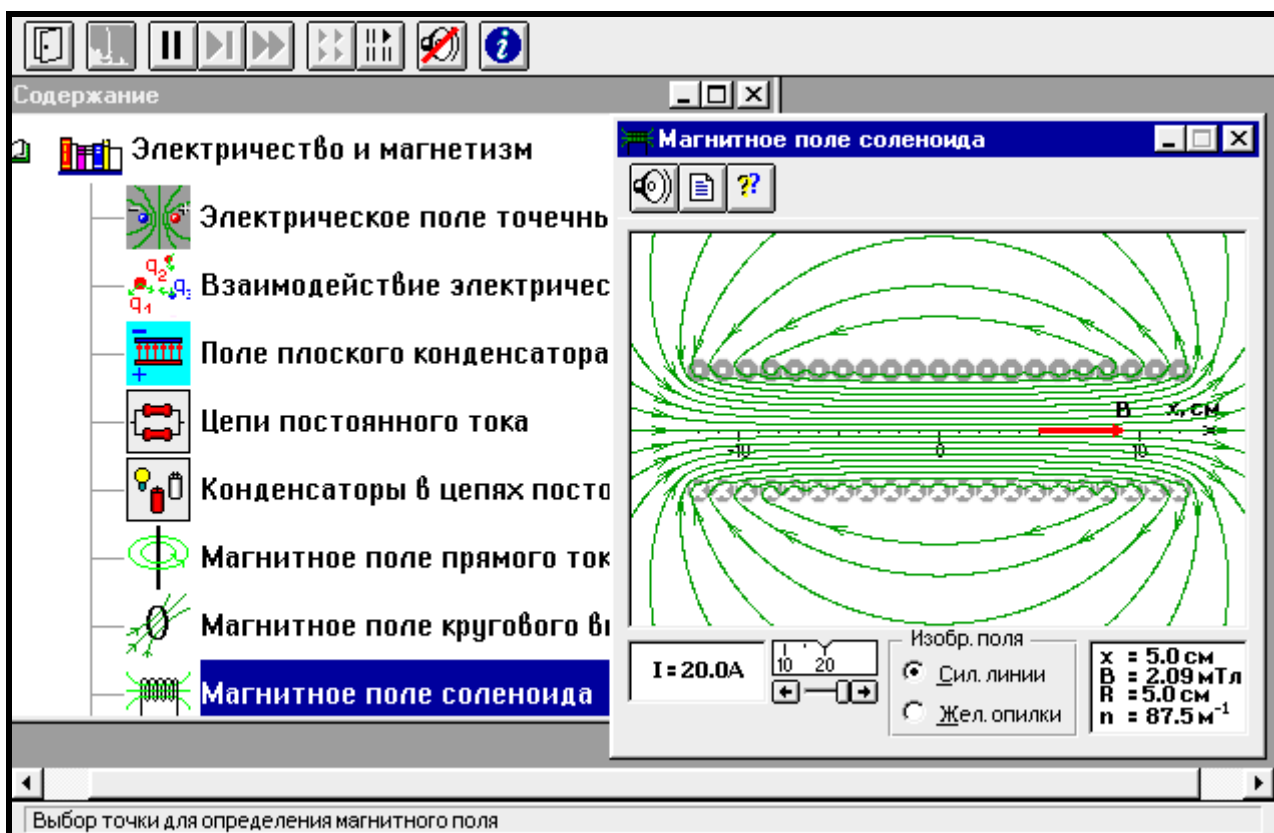


Рис. 3

## Результаты измерений

Форма 1

$r$ (см) =	2	3	...	10
$1/r$ , м <sup>-1</sup>				
$B_1$ , Тл				
$B_2$ , Тл				
$B_3$ , Тл				
$B_4$ , Тл				

## Величины токов (не перерисовывать)

Табл. 1

Бригады	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$
1 и 5	5	10	15	20
2 и 6	-5	-10	-15	-20
3 и 7	-15	-10	5	10
4 и 8	-20	-15	-10	5

Подготовьте табл. 1-1, используя образец по форме 1. Подготовьте также табл. 1-2 и 1-3, аналогичные табл.1-1, за исключением второй строчки, содержание которой - в следующем разделе.

**Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.**

## ИЗМЕРЕНИЯ

**Эксперимент 1**

1. Закройте окно эксперимента 3, нажав кнопку в правом верхнем углу внутреннего окна. Запустите, дважды щелкнув мышью, эксперимент «Магнитное поле прямого тока». Наблюдайте линии индукции МП прямого провода.
2. Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора тока. Зафиксируйте величину тока, указанную в табл. 1 для вашей бригады.
3. Перемещая мышью «руку» вблизи провода, нажимайте левую кнопку на расстояниях  $r$  до оси провода, указанных в табл. 1-1. Значения  $r$  и  $B$  занесите в табл.1-1. Повторите измерения для трех других значений тока из табл.1.

**Эксперимент 2**

1. Закройте окно эксперимента 1, нажав кнопку в правом верхнем углу внутреннего окна. Запустите, дважды щелкнув мышью, следующий эксперимент «Магнитное поле кругового витка с током». Наблюдайте линии индукции МП кругового витка (контур).
2. Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора тока. Зафиксируйте величину тока, указанную в табл. 1 для вашей бригады.
3. Перемещая мышью «руку» по оси витка, нажимайте левую кнопку мыши на расстояниях  $r$  до оси витка, указанных в табл. 1. Значения  $r$  и  $B$  занесите в табл. 1-2, аналогичную табл. 1-1 (кроме второй строки, в которой здесь надо записать  $1/(R^2+r^2)^{3/2}$  (м<sup>-3</sup>)). Повторите измерения для трех других значений тока из табл.1.

**Эксперимент 3**

1. Закройте окно эксперимента 2, нажав кнопку в правом верхнем углу внутреннего окна. Запустите, дважды щелкнув мышью, следующий эксперимент «Магнитное поле соленоида». Наблюдайте линии индукции МП соленоида.

2. Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора тока. Зафиксируйте величину тока, указанную в табл. 1 для вашей бригады.
3. Перемещая мышью «руку» по оси соленоида, нажимайте левую кнопку мыши на расстояниях  $r$  до оси соленоида, указанных в табл. 1-1. Значения  $r$  и  $B$  занесите в табл. 1-3, аналогичную табл. 1-1 (кроме второй строки, в которой здесь не надо записывать ничего). Повторите измерения для трех других значений тока из табл. 1.

### Обработка результатов и оформление отчета

1. Вычислите и запишите в таблицы 1-1, 1-2 и 1-3 значения для второй строки.
2. Постройте на одном листе графики зависимости индукции МП ( $B$ ) прямого провода с током от обратного расстояния ( $1/r$ ).
3. Постройте на втором листе графики зависимости индукции МП ( $B$ ) на оси витка с током от куба обратного расстояния  $1/(R^2+r^2)^{3/2}$ .
4. На третьем листе постройте графики зависимости индукции МП на оси соленоида от расстояния до его центра.
5. По тангенсу угла наклона графиков на первых двух листах определите магнитную постоянную, используя формулы

$$\mu_0 = \frac{2\pi \Delta(B)}{I \Delta\left(\frac{1}{r}\right)} \quad \text{для первого чертежа}$$

и

$$\mu_0 = \frac{4\pi}{IS} \frac{\Delta(B)}{\Delta\left(\frac{1}{(R^2+r^2)^{3/2}}\right)} \quad \text{для второго}$$

(площадь витка  $S = \pi R^2$ ).

6. Вычислите среднее значение магнитной постоянной.
7. Для магнитного поля соленоида при каждом токе определите протяженность  $\Delta r$  области однородности, в которой индукция меняется не более чем на 10% от максимальной. Вычислите среднее значение области однородности.
8. Запишите ответы и проанализируйте ответ и график.

### Вопросы и задания для самоконтроля

1. Что такое магнитное поле (МП)?
2. Назовите источники МП.
3. Какие силы действуют между движущимися зарядами?

4. Во сколько раз магнитная сила меньше электрической для двух движущихся точечных электрических зарядов?
5. Сформулируйте определение квазинейтральности проводов с током.
6. Какие силы и почему действуют между проводами с током?
7. Дайте определение линии индукции МП. Зачем их рисуют?
8. Запишите закон Био-Савара-Лапласа. В чем он похож на закон Кулона?
9. Сформулируйте принцип суперпозиции для МП.
10. Дайте определение циркуляции вектора  $\vec{B}$ .
11. Сформулируйте и запишите формулу теоремы о циркуляции МП вектора  $\vec{B}$ .
12. Сформулируйте и запишите формулу для индукции МП прямого провода с током.
13. Как выглядят линии индукции МП прямого провода с током?
14. Сформулируйте и запишите формулу для индукции МП на оси кругового витка (контура) с током.
15. Что такое магнитный момент витка с током?
16. Какую форму имеет линия индукции, проходящая через центр витка с током?
17. Что такое соленоид и для чего он используется?
18. Чему равно магнитное поле в центре соленоида?
19. Является ли МП внутри соленоида точно однородным?
20. Как определить протяженность области однородности МП внутри соленоида, если задана точность?