

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2_7. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Ю.В.Тихомиров

Ознакомьтесь с конспектом лекций и учебником (Савельев, т.2, §39-47). Запустите программу Open Physics 1-1. Выберите «Электричество и магнетизм» и «Магнитное поле прямого тока».

Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Необходимое запишите в свой 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 (контура) с током.
- Экспериментальное определение величины магнитной постоянной.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ (МП) называется то, что существует в области пространства, в которой на электрически нейтральный проводник с током действует сила, называемая магнитной. ИСТОЧНИКОМ МП является движущаяся электрически заряженная частица (заряд), которая создает также и электрическое поле.

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, 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, μ_0 - магнитная постоянная.

МП подчиняется ПРИНЦИПУ СУПЕРПОЗИЦИИ: индукция МП нескольких источников является суммой индукций полей, создаваемых независимо каждым источником $\vec{B}_{\text{сум}} = \sum_i \vec{B}_i$.

ЦИРКУЛЯЦИЕЙ МП называется интеграл по некоторому контуру от скалярного произведения индукции МП на элемент контура:

$$C_B = \int_L \vec{B} d\vec{L}.$$

ЗАКОН ЦИРКУЛЯЦИИ МП: циркуляция МП по замкнутому контуру L_0 пропорциональна суммарному току, пронизывающему поверхность $S(L_0)$, ограниченную этим контуром L_0

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

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:

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

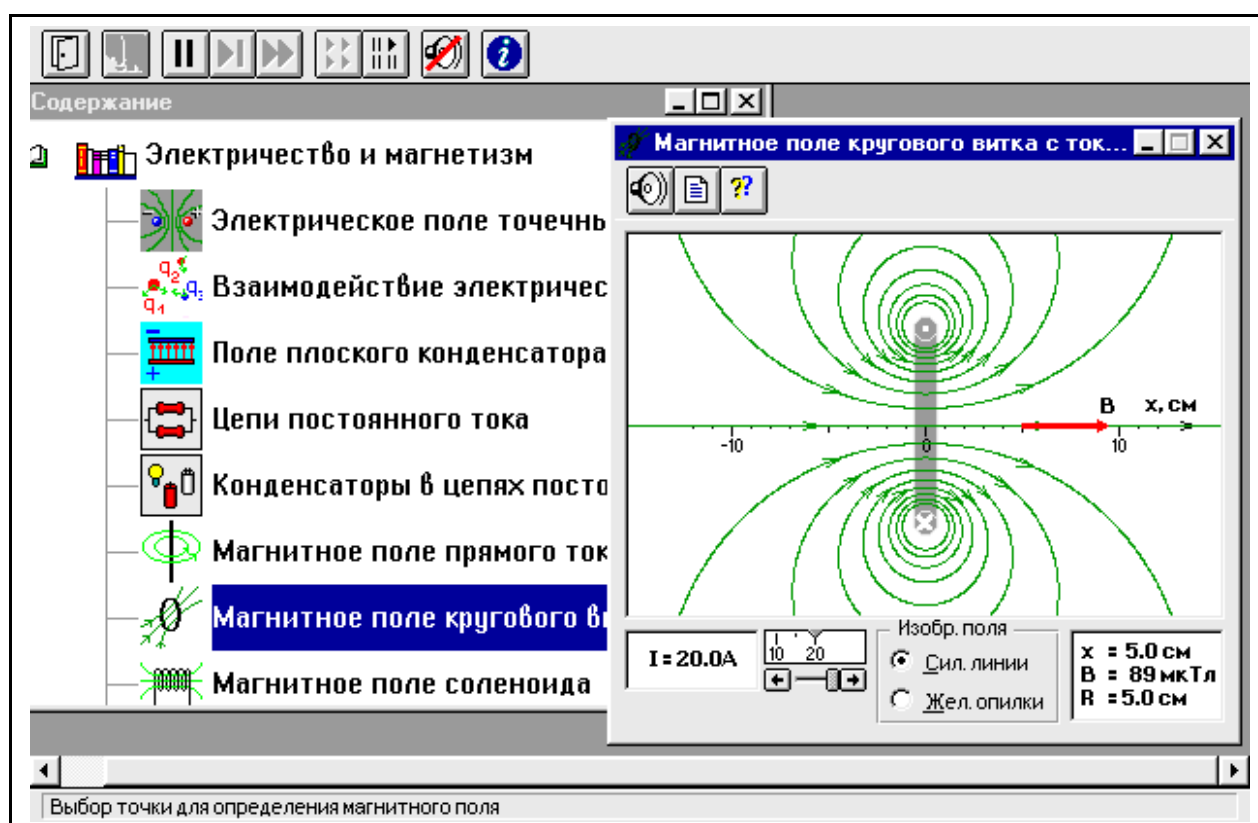
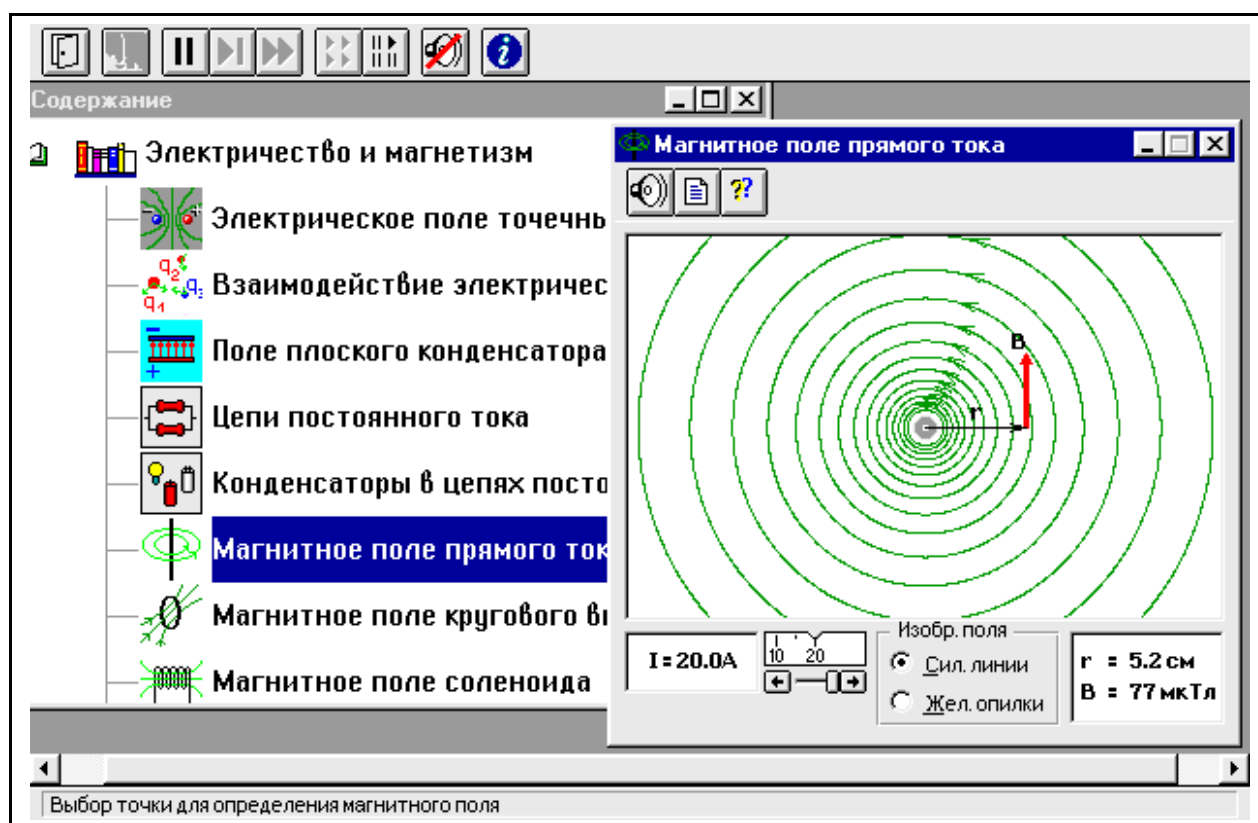
где $\vec{p}_m = IS\vec{e}_n$ - МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ витка площадью S , \vec{e}_n - единичный вектор нормали к поверхности витка.

СОЛЕНОИДОМ называется длинная прямая катушка с током. Величина индукции МП вблизи центра соленоида меняется очень мало. Такое поле можно считать практически однородным.

Из закона циркуляции МП можно получить формулу для индукции МП в центре соленоида $B = \mu_0 I n$, где n – число витков, приходящихся на единицу длины соленоида.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Закройте окно теории. Рассмотрите внимательно рисунок, изображающий компьютерную модель. Найдите на нем все основные регуляторы и поле эксперимента. Зарисуйте необходимое в конспект.



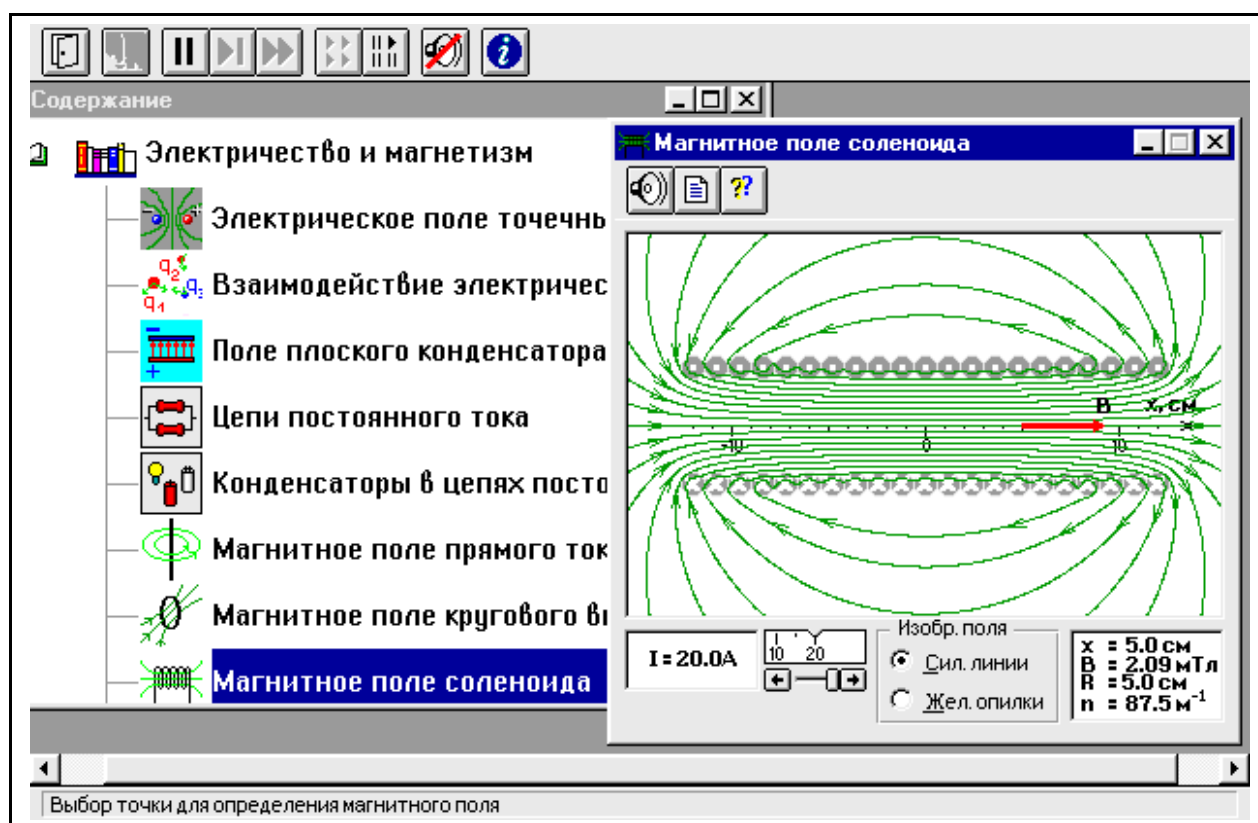


ТАБЛИЦА 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

r (см) =	2	3	...	10
$1/r, \text{м}^{-1}$				
$B_1, \text{Тл}$				
$B_2, \text{Тл}$				
$B_3, \text{Тл}$				
$B_4, \text{Тл}$				

ТАБЛИЦА 2. Значения величины тока (не перерисовывать)

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 таблицу 1, используя образец. Подготовьте также таблицы 3 и 4, аналогичные табл.1, за исключением второй строчки, содержание которой см. 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, следующий эксперимент «Магнитное поле прямого тока». Наблюдайте линии индукции МП прямого провода.
2. Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора тока. Зафиксируйте величину тока, указанную в таблице 2 для вашей бригады.

3. Перемещая мышью «руку» вблизи провода, нажимайте левую кнопку мыши на расстояниях r до оси провода, указанных в таблице 1. Значения r и B занесите в табл.1. Повторите измерения для трех других значений тока из табл.2.

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 (контура).
2. Зацепив мышью, перемещайте движок регулятора тока. Зафиксируйте величину тока, указанную в таблице 2 для вашей бригады.
3. Перемещая мышью «руку» по оси витка, нажимайте левую кнопку мыши на расстояниях r до оси витка, указанных в таблице 1. Значения r и B занесите в табл.3, аналогичную табл.1 (кроме второй строки, в которой здесь надо записать $1/(R^2+r^2)^{3/2}$ (м⁻³)). Повторите измерения для трех других значений тока из табл.2.

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 таблице 2 для вашей бригады.
3. Перемещая мышью «руку» по оси соленоида, нажимайте левую кнопку мыши на расстояниях r до оси соленоида, указанных в таблице 1. Значения r и B занесите в табл.4, аналогичную табл.1 (кроме второй строки, в которой здесь не надо записывать ничего). Повторите измерения для трех других значений тока из табл.2.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Вычислите и запишите в таблицы 1, 3 и 4 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 постоянную, используя формулы

$$\mu_0 = \frac{2\pi}{I} \frac{\Delta(B)}{\Delta\left(\frac{1}{r}\right)}$$

для первого чертежа и

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

для второго (площадь витка $S = \pi R^2$).

6. Вычислите среднее значение магнитной постоянной.
7. Для магнитного поля соленоида при каждом токе определите протяженность Δl 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 МП.
11. Сформулируйте и запишите формулу закона циркуляции МП.
12. Сформулируйте и запишите формулу для МП прямого провода с током.
13. Как выглядят линии индукции МП прямого провода с током?
14. Сформулируйте и запишите формулу для 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?