

Министерство образования и науки Российской Федерации

---

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Омский государственный технический университет»

---

## **ФИЗИКА-2**

Методические указания к практическим занятиям

Омск  
Издательство ОмГТУ  
2011

Составители:

*Л. Ф. Калистратова*, канд. физ.-мат. наук, доц. каф. физики;

*В. К. Волкова*, канд. техн. наук, доц. каф. физики;

*В. О. Нижникова*, ст. преп. каф. физики

Методические указания составлены в соответствии с программой курса общей физики для технических вузов. Содержат основные формулы, задачи для аудиторных занятий, самостоятельного решения, а также вопросы программированного контроля по разделу «Электромагнетизм».

Предназначены для студентов первого курса всех специальностей дневного обучения.

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Омского государственного технического университета*

© ГОУ ВПО «Омский государственный  
технический университет», 2011

## ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ

### Основные формулы

<p style="text-align: center;">Закон Кулона:</p> $F = \frac{kq_1q_2}{\varepsilon \cdot r^2}$ $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Нм}^2/\text{Кл}^2$ <p><math>\varepsilon</math> – диэлектрическая проницаемость среды;</p> <p><math>\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}</math> – электрическая постоянная</p>	<p style="text-align: center;">Точечный заряд можно представить как</p> $dq = \tau \cdot dl, \quad dq = \sigma \cdot dS, \quad dq = \rho dV$ <p><math>\tau, \sigma, \rho</math> – линейная, поверхностная и объемная плотности заряда соответственно</p>
<p style="text-align: center;">Напряженность и потенциал электростатического поля:</p> $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\text{пр}}} \quad \varphi = \frac{W_p}{q_{\text{пр}}}$	<p style="text-align: center;">Напряженность и потенциал поля точечного заряда:</p> $E = \frac{kq}{\varepsilon \cdot r^2} \quad \varphi = \frac{kq}{\varepsilon \cdot r}$
<p style="text-align: center;">Принцип суперпозиции полей, созданных несколькими точечными зарядами:</p> $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$ $\varphi = \pm\varphi_1 \pm \varphi_2 \pm \varphi_3 \pm \dots$	<p style="text-align: center;">Принцип суперпозиции для непрерывно распределенных зарядов:</p> $\vec{E} = \int d\vec{E} \quad \varphi = \int d\varphi$
<p style="text-align: center;">Связь между потенциалом и напряженностью имеет вид:</p> $\vec{E} = -\text{grad}\varphi$ $d\varphi = -E dr$	<p style="text-align: center;">Если напряженность и потенциал являются функциями одной координаты, то справедливы соотношения:</p> $E_x = -\frac{d\varphi}{dx} \quad \Delta\varphi = -\int_{x_1}^{x_2} E dx$

### Задачи для аудиторных занятий

1. Три одинаковых заряда по 10 мкКл расположены в вершинах треугольника. Какой заряд нужно поместить в центр треугольника, чтобы вся система зарядов находилась в равновесии?

Ответ: 5,78 мкКл

2. На нити подвешен шарик массой 9,8 г, которому сообщили заряд 1 мкКл. Когда к нему поднесли снизу заряженный таким же зарядом шарик, сила натяжения нити уменьшилась в 4 раза. Определить расстояние между центрами шариков.

Ответ: 35 см

3. Четыре одинаковых заряда по 10 мкКл расположены в вершинах квадрата. Определить напряжённость и потенциал в центре квадрата. Сторона квадрата равна 10 см. Один из зарядов имеет отрицательный знак.

Ответ: 36 МВ/м; 2,55 МВ

4. Два заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускают в керосин ( $\epsilon = 2$ ). Какой должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и керосине был один и тот же? Плотность керосина равна 0,8 г/см<sup>3</sup>.

Ответ: 1,6 г/см<sup>3</sup>

5. На нити длиной 10 см равномерно распределён заряд 1 нКл. Определить напряженность поля в точке, лежащей на оси нити на расстоянии 20 см от ближайшего конца.

Ответ: 150 В/м

6. Тонкий стержень длиной 10 см равномерно заряжен с линейной плотностью заряда 10 нКл/м. Определить потенциал электрического поля в точке, лежащей на оси стержня на расстоянии 20 см от его ближайшего конца.

Ответ: 36,5 В

7. Определить потенциал в центре нити, имеющей форму полуокружности радиусом R и равномерно заряженной с линейной плотностью заряда 10 нКл/м.

Ответ: 283 В

### Задачи для самостоятельного решения

1. Два шарика, массой 0,1 г каждый, подвешены в одной точке на нитях длиной 20 см каждая. Получив одинаковый заряд, шарики разошлись так, что нити образовали между собой угол 60°. Найти заряд каждого шарика.

Ответ: 50,6 нКл

2. Два одноименных заряда 0,27 и 0,17 мкКл находятся на расстоянии 20 см друг от друга. На прямой линии между зарядами найти точку, в которой напряженность поля равна нулю.

Ответ: 11,2 см от первого заряда

3. Четыре одинаковых заряда по 10 мкКл расположены в вершинах квадрата. Один из зарядов имеет отрицательный знак. Определить напряжённость и потенциал в точке нахождения отрицательного заряда. Сторона квадрата равна 10 см.

Ответ: 17,23 МВ/м; 2,44 МВ

4. Прямая бесконечная и тонкая нить равномерно заряжена с линейной плотностью заряда  $1 \text{ мкКл/м}$ . В плоскости, содержащей нить, перпендикулярно нити находится тонкий стержень длиной  $\ell$ . Ближайший к нити конец стержня находится на расстоянии  $\ell$  от неё. Определить силу, действующую на стержень, если он заряжен с линейной плотностью  $0,1 \text{ мкКл/м}$ .

Ответ:  $1,25 \text{ мН}$

### Вопросы программированного контроля

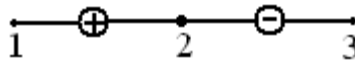
1. Два точечных заряда  $+q$  и  $-q$  создают электрическое поле. В какой из отмеченных точек напряженность равна нулю?

а) 1;

б) 2;

в) 3;

г) ни в одной из этих точек.



2. В вершинах квадрата расположены равные по модулю заряды  $+q, +q, -q, -q$ , каждый из которых создает потенциал в центре квадрата, по модулю равный  $\varphi$ . Потенциал суммарного электрического поля в центре квадрата равен...

а)  $2\varphi$ ;

б)  $0$ ;

в)  $\varphi$ ;

г)  $4\varphi$ .

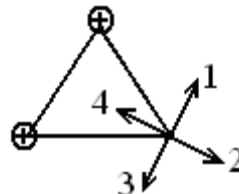
3. В двух вершинах равностороннего треугольника расположены одинаковые по знаку и равные по модулю заряды. По какому вектору направлена напряженность суммарного электрического поля в третьей вершине треугольника?

а) 1;

б) 2;

в) 3;

г) 4.

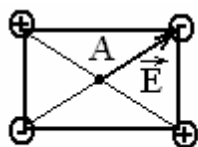


4. В вершинах квадрата расположены равные по модулю заряды. Какой вектор соответствует направлению напряженности в центре квадрата?

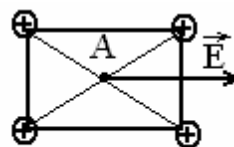
а) 1;

б) 2;

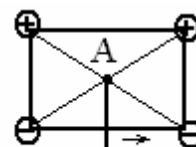
в) 3.



1)

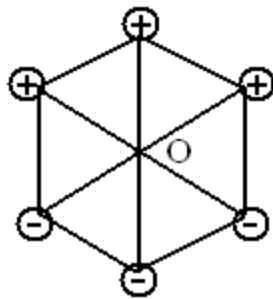


2)



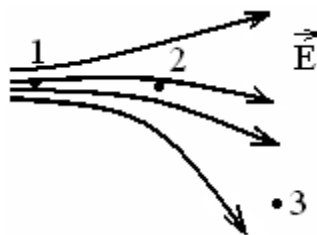
3)

5. В вершинах правильного шестиугольника расположены одинаковые по модулю точечные заряды. Определить направление вектора напряженности поля в точке O.

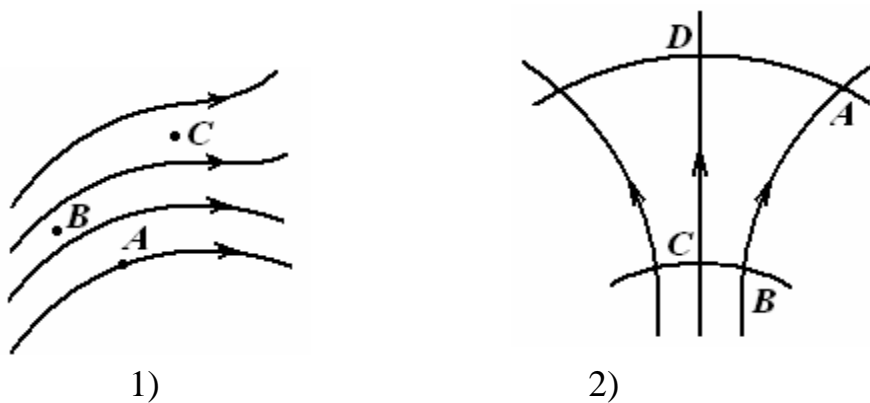


6. В какой точке поля напряженность  $\vec{E}$  максимальна?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3.



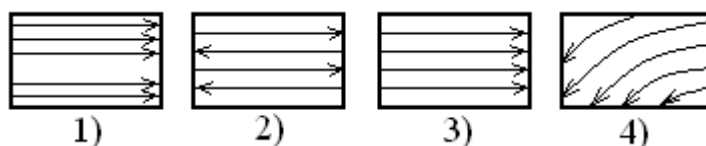
7. Задана картина линий напряженности электрического поля (рис. 1). В какой точке сила, действующая на внесенный в поле пробный заряд, будет наибольшей?



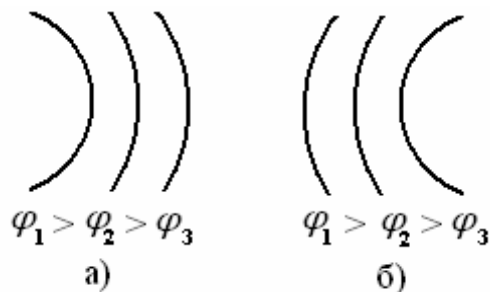
8. На рисунке 2 показаны силовые линии и две эквипотенциальные поверхности (A и B). Какая поверхность имеет больший потенциал? В какой точке (C или D) больше напряженность поля?

9. На каком из рисунков изображена картина силовых линий однородного поля?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

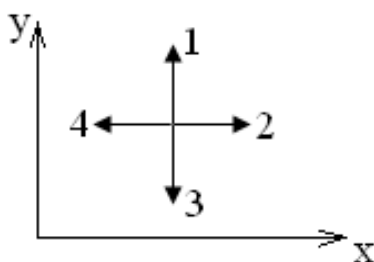


10. На рисунке изображены эквипотенциальные поверхности некоторого электрического поля. Изобразите несколько силовых линий этого поля и укажите их направление.



11. В некоторой области пространства создано электрическое поле, потенциал которого описывается функцией  $\varphi = 3x^2$ . Какое направление будет иметь вектор напряженности поля в точке пространства, показанной на рисунке?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.



12. Потенциал в направлении оси  $x$  изменяется по закону  $\varphi(x) = Ax + Bx^2$ , где  $A$  и  $B$  постоянные величины. Как при этом напряженность поля зависит от координаты?

- а)  $E(x) = A + Bx^2$ ;
- б)  $E(x) = 2Ax^2 + 3Ax^3$ ;
- в)  $E(x) = -(A + 2Bx)$ ;
- г)  $E(x) = -(A + Bx)$ .

## Занятие 2

### ТЕОРЕМА ГАУССА. РАБОТА СИЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

#### Основные формулы

<p style="text-align: center;">Элементарный поток вектора напряженности</p> $dN = (\vec{E} \cdot d\vec{S}) = E \cdot dS \cdot \cos\alpha$	<p style="text-align: center;">Теорема Гаусса:</p> $\oint_S (\vec{E}_n \cdot d\vec{S}) = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i$
<p style="text-align: center;">Напряженность поля заряженной сферы радиуса <math>R</math> на расстоянии <math>r</math> от центра сферы:</p> <p>для точек <math>r &lt; R</math>      <math>E = 0</math></p> <p>для точек <math>r \geq R</math>      <math>E = \frac{k q }{r^2}</math></p>	<p style="text-align: center;">Напряженность поля заряженного диэлектрического шара радиуса <math>R</math> на расстоянии <math>r</math> от центра сферы:</p> <p>для точек <math>r &lt; R</math>      <math>E = \frac{ \rho  \cdot r}{3\epsilon_0} = \frac{k q  \cdot r}{R^3}</math></p> <p>для точек <math>r \geq R</math>      <math>E = \frac{ \rho  \cdot R^3}{3\epsilon_0 \cdot r^2} = \frac{k q }{r^2}</math></p>

<p>Напряженность равномерно заряженной бесконечной плоскости:</p> $E = \frac{ \sigma }{2\varepsilon_0}$	<p>Напряженность равномерно заряженной бесконечной нити:</p> $E = \frac{2k \tau }{r}$
<p>Работа по перемещению точечного заряда в однородном поле:</p> $A = qEd$	<p>Работа по перемещению положительного точечного заряда в неоднородном поле:</p> $A_{1-2} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$
<p>Работа по перемещению точечного заряда в поле точечного заряда:</p> $A = kq_1q_2 \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$	<p>Энергия системы точечных зарядов:</p> $W = \frac{1}{2} \sum q_i \cdot \varphi_k$

### Задачи для аудиторных занятий

1. Металлический шар радиусом 10 см имеет заряд 0,1 мкКл. На расстоянии, равном радиусу шара от его поверхности, находится конец нити, вытянутой вдаль силовой линии. Нить несет равномерно распределенный по длине заряд 10 нКл. Длина нити равна радиусу шара. Определить силу, действующую на нить.

Ответ: 150 мкН

2. Две концентрические металлические заряженные сферы радиусами 6 и 10 см имеют заряды +1 и -0,5 нКл. Найти напряженности поля в точках, отстоящих от центра сфер на расстояниях 5, 9 и 15 см. Построить график зависимости напряженности поля от расстояния  $r$ .

Ответ: 0; 1,11 кВ/м; 200 В/м

3. Две бесконечные параллельные плоскости находятся на расстоянии 0,5 см друг от друга. На плоскостях равномерно распределены заряды с поверхностными плотностями +0,2 и -0,3 мкКл/м<sup>2</sup>. Определить разность потенциалов между плоскостями.

Ответ: 141 В

4. Какую работу нужно совершить силам электрического поля, чтобы расстояние между двумя положительными зарядами, равными 2 и 20 нКл, увеличить в 3 раза? Первоначальное расстояние равно 10 см.

Ответ: 2,4 мкДж

5. Пылинка массой 1 нг, несущая на себе 5 электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов 3 МВ. Какова кинетическая энергия пылинки? Какую скорость приобрела пылинка?

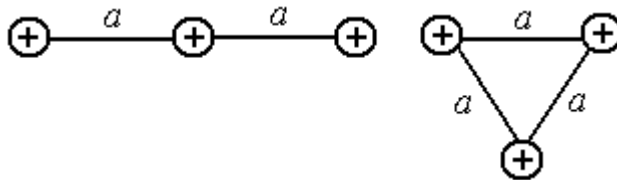
Ответ: 15 МэВ, 6,93 м/с



6. Найти работу по перестройке системы трех зарядов из ситуации 1 в ситуацию 2.

$$a = 1 \text{ см}$$

$$q = 1 \text{ нКл}$$



Ответ: 45 мкДж

### Задачи для самостоятельного решения

1. Бесконечная плоскость заряжена с поверхностной плотностью заряда 20 нКл. Найти разность потенциалов между точками, удалёнными от плоскости на расстояние 5 и 20 см.

Ответ: 340 В/м

2. Диэлектрический ( $\epsilon = 3$ ) шар радиусом  $R = 10$  см заряжен равномерно с объемной плотностью 10 нКл/м<sup>3</sup>. Определить напряженность на расстояниях 5 и 15 см от центра шара. Построить график зависимости  $E(r)$ .

Ответ: 6,3 В/м; 16,7 В/м

3. Электрическое поле создается бесконечным цилиндром радиусом 8 мм, равномерно заряженным с линейной плотностью 10 нКл/м. Определить разность потенциалов между двумя точками этого поля, находящимися на расстоянии 2 и 7 мм от поверхности этого цилиндра.

Ответ: 11,3 В

4. Электрон движется вдоль силовой линии однородного электрического поля. В некоторой точке поля с потенциалом 100 В электрон имел скорость 6 Мм/с. Определить потенциал  $\varphi_2$  точки поля, в которой скорость электрона уменьшится в 2 раза.

Ответ: 23,2 В

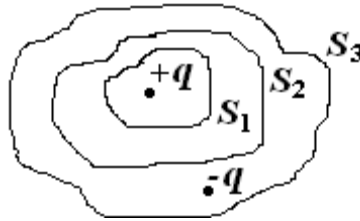
### Вопросы программированного контроля

1. Точечный заряд  $+q$  находится в центре сферической поверхности. Как изменится поток вектора напряженности электрического поля, если увеличить радиус сферической поверхности в 2 раза?

- а) уменьшится;
- б) увеличится;
- в) не изменится.

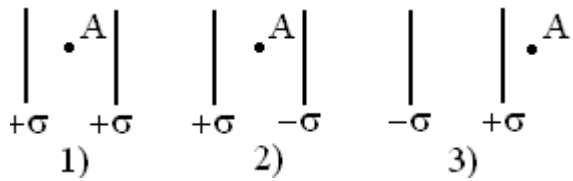
2. Даны система точечных зарядов в вакууме и замкнутые поверхности  $S_1, S_2$  и  $S_3$ . Через какую поверхность поток вектора напряженности электрического поля равен нулю?

- а)  $S_1$ ;
- б)  $S_2$ ;
- в)  $S_3$ .



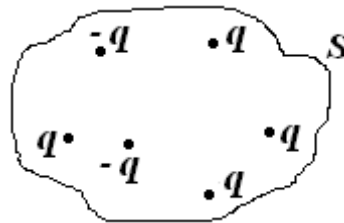
3. В каком случае напряженность в точке  $A$  отлична от нуля?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3.



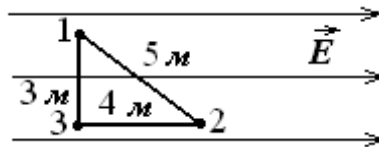
4. Чему равен поток вектора напряженности электрического поля через замкнутую поверхность  $S$ , изображённую на рисунке?

- а)  $\frac{4q}{\epsilon_0}$ ;
- б)  $\frac{6q}{\epsilon_0}$ ;
- в) 0;
- г)  $\frac{2q}{\epsilon_0}$ .



5. На рисунке изображены силовые линии электрического поля напряженностью 100 В/м. Чему равна разность потенциалов между точками 1 и 2? 96+

- а) 0;
- б) 300 В;
- в) 400 В;
- г) 500 В.



6. В электрическом поле точечного заряда  $q$  из точки  $A$  в точки  $B, C, D, E$  перемещали один и тот же заряд. Сравнить работы по перемещению и обосновать ответ.

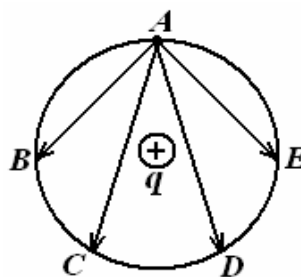
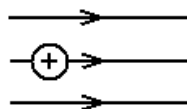


Рис. 4

7. Положительный заряд поместили в электрическое поле. В каком направлении станет двигаться заряд?

- а) влево равноускоренно;
- б) вправо равномерно;
- в) вправо равноускоренно;
- г) влево равномерно.



### Занятие 3

## ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ ПРОВОДНИКА. КОНДЕНСАТОРЫ. ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

### Основные формулы

<p>Емкость проводника и конденсатора:</p> $C = \frac{q}{\varphi} \quad C = \frac{q}{U}$	<p>Емкость шара:</p> $C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot R$
<p>Емкость плоского, сферического и цилиндрического конденсаторов:</p> $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}; \quad C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1 \cdot R_2}{(R_2 - R_1)}; \quad C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 h}{\ln(R_2/R_1)}$	<p>Емкость батареи последовательно и параллельно соединенных конденсаторов:</p> $\frac{1}{C_{\text{общ(пос)}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots, \quad q = \text{const};$ $C_{\text{общ(пар)}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots, \quad U = \text{const}$
<p>Собственная энергия заряженного уединенного проводника:</p> $W = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{q \cdot \varphi}{2}$	<p>Собственная энергия заряженного конденсатора:</p> $W = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}$
<p>Энергия неоднородного электрического поля:</p> $W = \int_V \omega dV$	<p>Объемная плотность энергии электрического поля:</p> $\omega = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2}$

### Задачи для аудиторных занятий

1. Заряженные шары, радиусы которых 5 и 15 см, соединили металлической проволокой. При этом с первого шара на второй перешел заряд 5 нКл. После их разъединения потенциал первого шара оказался 2 кВ. Найти потенциалы шаров до их соединения.

Ответ: 2,9 кВ, 1,7 кВ

2. Плоский воздушный конденсатор с расстоянием между пластинами 4 мм заряжен до разности потенциалов 2 кВ. Не отключая конденсатор от источника напряжения, раздвигают его пластины до расстояния 6 мм. Найти изменение объемной плотности энергии конденсатора.

Ответ:  $-0,61 \text{ Дж/м}^3$

3. Металлический шар, погруженный в керосин ( $\epsilon = 2$ ), имеет потенциал 4,5 кВ и поверхностную плотность заряда  $11 \text{ мкКл/м}^2$ . Найти энергию шара, заключённую во всём пространстве вне шара.

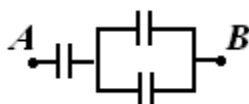
Ответ: 116 мкДж

4. Конденсатор ёмкостью 3 мкФ был заряжен до разности потенциалов 40 В. После отключения от источника тока конденсатор был соединен параллельно с другим незаряженным конденсатором ёмкостью 5 мкФ. Определить энергию, израсходованную на образование искры в момент присоединения второго конденсатора.

Ответ: 1,5 мДж

5. Три одинаковых конденсатора соединены в батарею. Разность потенциалов между точками А и В батареи равна 1кВ, энергия батареи конденсаторов равна 2 Дж. Вычислить ёмкость каждого конденсатора.

Ответ: 6 мкФ



6. От верхней пластины горизонтально расположенного заряженного плоского воздушного конденсатора падает дробинка массой 8 мг с зарядом 4 мкКл. Заряд верхней пластины конденсатора положителен и равен 2 Кл. Найти ёмкость конденсатора, если при подлёте к нижней пластине скорость равна 100 м/с.

Ответ: 200 мкФ

### Задачи для самостоятельного решения

1. 64 маленьких заряженных капельки ртути, радиусом 5 мм каждая, имеющих заряд 1 нКл каждая, сливаются в одну большую каплю. Найти потенциал большой капли.

Ответ: 28,8 кВ

2. Плоский конденсатор с расстоянием между пластинами 4 мм и ёмкостью  $C_0$  погружается наполовину в жидкий диэлектрик с  $\epsilon = 3$ . Определить новое расстояние между пластинами конденсатора, при котором его ёмкость останется прежней.

Ответ: 8 мм

3. Конденсатор емкостью 4 мкФ заряжен до разности потенциалов 80 В, а конденсатор емкостью 60 мкФ – до разности потенциалов 16 В. Определить разность потенциалов на конденсаторах после их соединения одноименно заряженными обкладками.

Ответ: 20 В

4. Электрон влетает со скоростью 10 Мм/с под углом  $30^\circ$  в горизонтальный плоский конденсатор. Расстояние между пластинами 1 см, разность потенциалов 425 В. На какое максимальное расстояние электрон удалится от положительно заряженной пластины?

Ответ: 1,67 мм

5. Вычислить энергию электростатического поля металлического шара радиусом 10 см и зарядом 100 нКл, заключённого в пространстве между поверхностями с радиусами  $0,5R$  и  $4R$ .

Ответ: 338 мкДж

### Вопросы программированного контроля

1. Напряженность поля внутри проводника, на который внесен заряд...

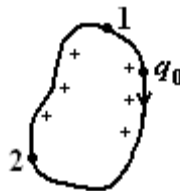
- а) равна нулю;
- б) имеет всю величину во всем объеме;
- в) нарастает от центра поверхности.

2. Поверхность заряженного проводника является...

- а) поверхностью, все точки которой имеют разные потенциалы;
- б) поверхностью, все точки которой имеют одинаковую плотность заряда;
- в) эквипотенциальной поверхностью.

3. Проводник заряжен. Чему равна работа по перемещению заряда  $q_0$  по внешней поверхности проводника между точками 1 и 2?

- а)  $A = q_0(\varphi_1 - \varphi_2)$ ;
- б)  $A = -q_0(\varphi_2 - \varphi_1)$ ;
- в)  $A = 0$ .



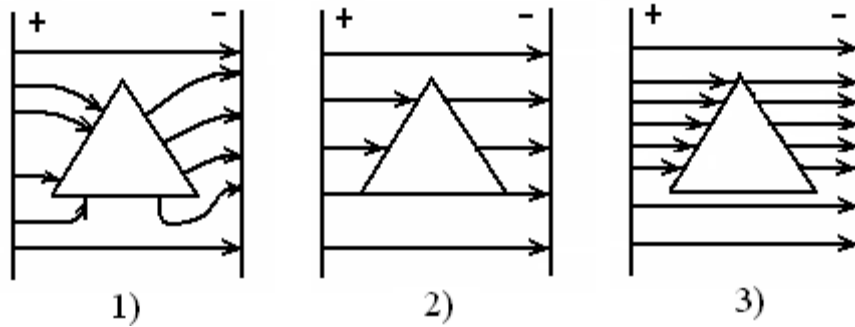
4. Проводник, помещенный во внешнее электрическое поле, внутри себя это поле...

- а) ослабляет;
- б) усиливает;
- в) уничтожает.

5. Электростатическая индукция – это явление...

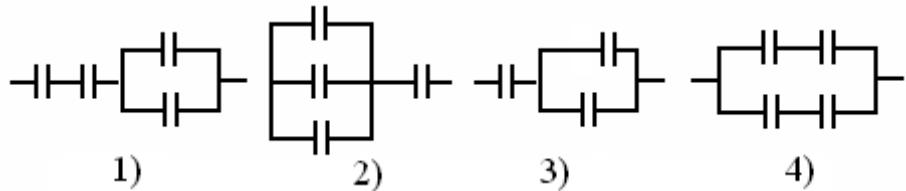
- а) перераспределения внешнего заряда на проводнике;
- б) перераспределения зарядов самого проводника при действии внешнего поля;
- в) возникновения связанного заряда внутри проводника под действием внешнего поля.

6. На каком рисунке правильно нарисованы силовые линии для электрического поля конденсатора, в который внесен проводник в виде треугольника?

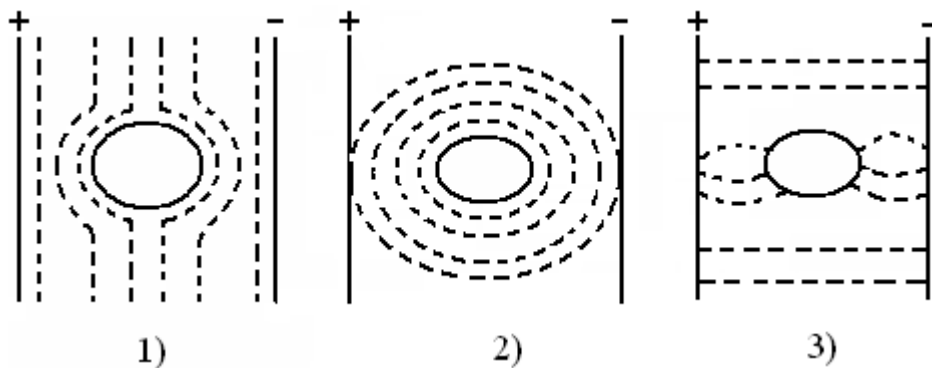


7. Четыре одинаковых конденсатора, емкостью  $C$  каждый, соединены так, как показано на рисунках. Найти электроёмкость каждой батареи конденсаторов. Для какой батареи конденсаторов указан правильный ответ?

- а)  $0,75 C$ ;
- б)  $0,4 C$ ;
- в)  $C$ ;
- г)  $0,6 C$ .



8. На каком рисунке правильно нарисованы эквипотенциальные поверхности электрического поля конденсатора, между пластинами которого помещен проводник в виде круглого диска?



9. Воздушный конденсатор электроёмкостью  $C$  заполняют диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 2. Конденсатор какой электроёмкости надо включить последовательно с данным, чтобы получившаяся батарея конденсаторов также имела электроёмкость  $C$ ?

- а)  $C$ ;
- б)  $2C$ ;
- в)  $3C$ ;
- г)  $4C$ .

#### Занятие 4

### ЗАКОН ОМА. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

#### Основные формулы

<p>Сила тока:</p> $I = \frac{dq}{dt}$	<p>Плотность тока:</p> $j = \frac{dI}{dS_{\perp}}$
<p>Связь плотности тока со средней скоростью <math>\langle v \rangle</math> направленного движения заряженных частиц:</p> $j = q \cdot n \langle v \rangle$	<p>Закон Ома для однородного участка цепи:</p> $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{\Delta\varphi}{R} = \frac{U}{R}$
<p>Закон Ома для неоднородного участка цепи:</p> $I = \frac{\Delta\varphi \pm \varepsilon}{R + r}$	<p>Закон Ома для замкнутой цепи:</p> $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$
<p>Закон Ома в дифференциальной форме:</p> $\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$	<p>Сопротивление проводника:</p> $R = \frac{\rho \cdot \ell}{S}$
<p>Зависимость сопротивления проводника от температуры:</p> $R = R_0(1 + \alpha \cdot t),$ <p><math>R_0</math> – удельное сопротивление при <math>0^{\circ}C</math>;  <math>\alpha</math> – температурный коэффициент сопротивления</p>	<p>Правила Кирхгофа:</p> <p>1) <math>\sum_{k=1}^n I_k = 0</math>;</p> <p>2) <math>\sum_{k=1}^n I_k R_k = \sum_{i=1}^m \varepsilon_i</math></p>
<p>Последовательное соединение проводников:</p> $R = \sum_{i=1}^n R \quad I = \text{const}$	<p>Параллельное соединение проводников:</p> $\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R} \quad U = \text{const}$

### Задачи для аудиторных занятий

1. Сила тока в проводнике изменяется за время от 3 до 7 с по закону  $I = At^2 + B$ , где  $A = 0,1 \text{ А/с}^2$ ,  $B = 2 \text{ А}$ . Определить заряд, прошедший по проводнику.

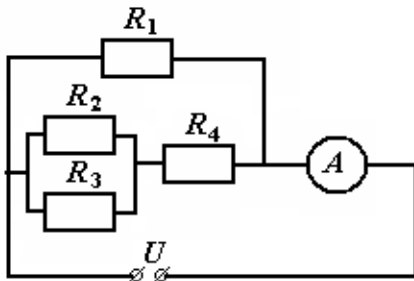
Ответ: 18,5 Кл

2. По медному проводнику сечением  $0,8 \text{ мм}^2$  течет ток 80 мА. Найти среднюю скорость упорядоченного движения электронов  $\langle v \rangle$  проводника, предполагая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон. Молярная масса меди 63,5 г/моль.

Ответ:  $7,4 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$

3. Когда к источнику тока подключили резистор сопротивлением 5 Ом, то сила тока стала 1 А, а когда подключили резистор сопротивлением 15 Ом, то 0,5 А. Определить ЭДС источника тока, его внутреннее сопротивление и ток короткого замыкания.

Ответ: 10 В; 5 Ом; 2 А



4. В схеме, изображенной на рисунке:

$R_2 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_1 = R_3 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 4 \text{ Ом}$ ,

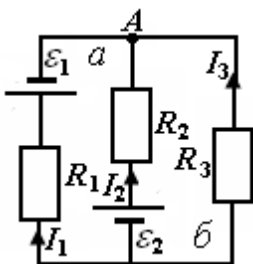
$U = 12 \text{ В}$ .

Найти показание амперметра.

Ответ: 4 А

5. Вольфрамовая нить электрической лампы при температуре  $2000 \text{ }^\circ\text{C}$  имеет сопротивление 204 Ом. Определить ее сопротивление при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температурный коэффициент сопротивления вольфрама  $0,0046 \text{ К}^{-1}$ .

Ответ: 20 Ом



6. В цепи, изображенной на рисунке, найти токи через сопротивления  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 2 \text{ Ом}$ . ЭДС источников тока соответственно равны 1, 3 и 5 В. Внутренними сопротивлениями источников пренебречь.

Ответ: 0,4 А; 1,2 А; 1,6 А через  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$

7. Если предположить, что число электронов проводимости в металле равно числу атомов, то какой будет средняя скорость электронов проводимости в серебряной проволоке диаметром 1 мм, по которой идет ток 30 А?  $\rho = 10,5 \text{ г/см}^3$ ,  $M = 108 \text{ г/моль}$ .



Ответ: 0,4 см/с

### Задачи для самостоятельного решения

1. Определить плотность тока, если за 2 с через проводник сечением  $1,6 \text{ мм}^2$  прошло  $2 \cdot 10^{19}$  электронов.

Ответ:  $10 \text{ кА/м}^2$

2. На участке из трех параллельно соединенных резисторов амперметр показывает силу тока 1,5 А. Сила тока через сопротивление  $R_1$  равна 0,5 А. Сопротивление  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 3 \text{ Ом}$ . Определить сопротивление  $R_1$ , а также силу тока через сопротивление  $R_2$  и  $R_3$ .

Ответ: 3 Ом; 0,75 А; 0,25 А

4. Если предположить, что число электронов проводимости в металле равно числу атомов, то какой будет средняя скорость электронов проводимости в серебряной проволоке диаметром 1 мм, по которой идет ток 30 А?  $\rho = 10,5 \text{ г/см}^3$ ,  $M = 108 \text{ г/моль}$ .

Ответ: 0,4 см/с

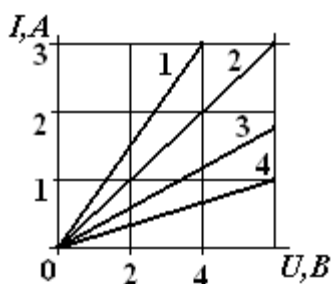
5. Определить сопротивление мотка стальной проволоки диаметром 1 мм. Масса проволоки 300 г.

Ответ: 9,4 Ом

### Вопросы программированного контроля

1. Через лампу, подключенную к источнику тока с ЭДС 8В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом, протекает ток 2А. Какая зависимость тока от приложенного к лампе напряжения является справедливой?

- а) 4;
- б) 3;
- в) 1;
- г) 2.

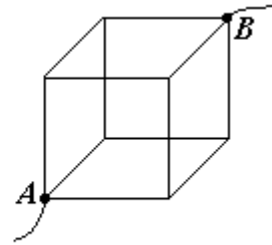
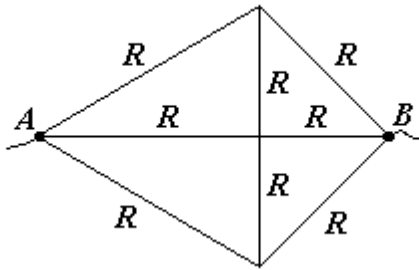
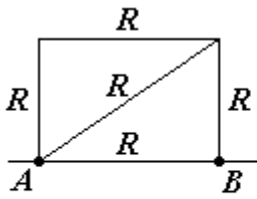


2. Сила тока за 10 с равномерно возрастает от 1 до 3 А. За это время через поперечное сечение проводника переносится заряд, равный...

- а) 40 Кл;
- б) 20 Кл;
- в) 10 Кл;

г) 30 Кл.

3. Определить общее сопротивление данных схем между точками А и В.



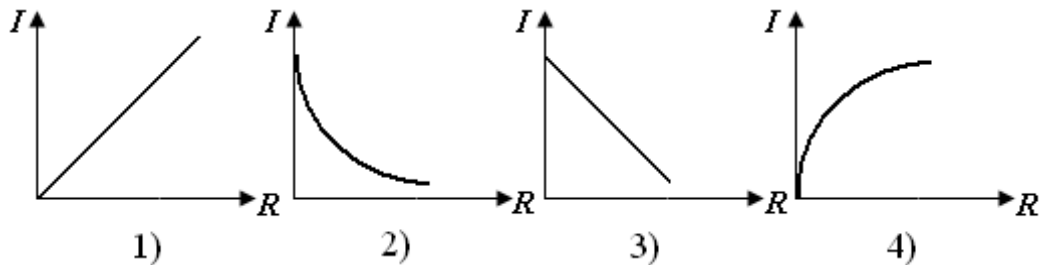
4. На рисунке представлена зависимость плотности тока  $j$ , протекающего в проводниках 1 и 2, от напряженности электрического поля  $E$ . Отношение проводимостей  $\sigma_1/\sigma_2$  этих проводников равно...

- а) 0,5;
- б) 2;
- в) 0,25;
- г) 4.



5. На каком рисунке правильно показана зависимость силы тока  $I$  в замкнутой цепи от внешнего сопротивления  $R$ ?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

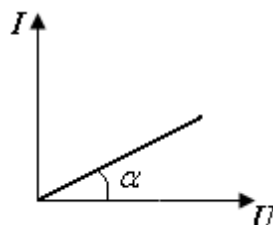


6. Удельное сопротивление металлов при температурах выше  $0^\circ\text{C}$ ...

- а) линейно возрастает с ростом температуры;
- б) линейно уменьшается с ростом температуры;
- в) нелинейно уменьшается с ростом температуры;
- г) нелинейно увеличивается с ростом температуры.

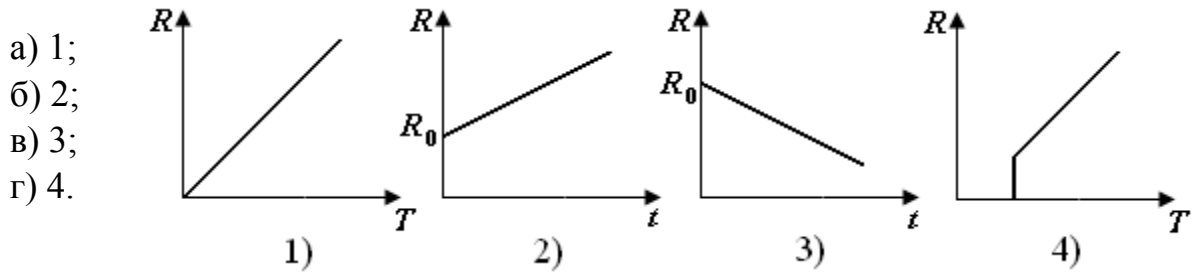
7. На рисунке изображена зависимость силы тока от напряжения на однородном участке цепи. Чему равно сопротивление  $R$  участка?

- а)  $R = \operatorname{tg}\alpha$ ;
- б)  $R = \operatorname{ctg}\alpha$ ;
- в)  $R = \cos\alpha$ ;



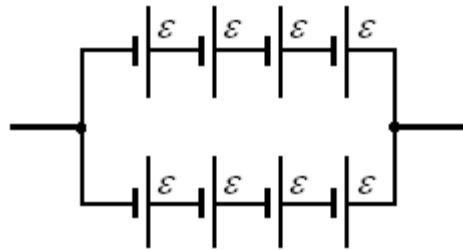
г)  $R = \sin \alpha$ .

8. На каком графике **неверно** показана зависимость сопротивления проводника от температуры?



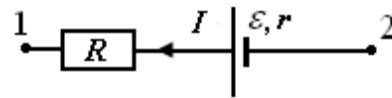
9. Из одинаковых источников сделана батарея. Чему равны общая ЭДС батареи и её общее сопротивление, если соответствующие величины для одного источника равны  $\varepsilon = 5$  В,  $r = 2$  Ом?

- а) 20 В, 2 Ом;  
б) 20 В, 4 Ом;  
в) 40 В, 4 Ом;  
г) 40 В, 16 Ом.



10. Указать правильную запись закона Ома для изображенного участка цепи.

- а)  $I = \frac{\varphi_2 - \varphi_1 + \varepsilon}{R + r}$ ; б)  $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon}{R + r}$ ;  
в)  $I = \frac{\varphi_2 - \varphi_1 - \varepsilon}{R + r}$ ; г)  $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 - \varepsilon}{R + r}$ .

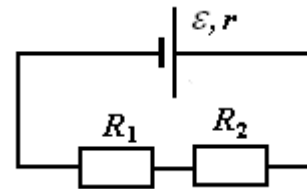


11. В проводнике с сопротивлением  $R = 2$  Ом, подключенном к элементу с ЭДС  $\varepsilon = 2,5$  В, сила тока равна 1 А. Сила тока при коротком замыкании равна...

- а) 0,2 А; б) 0,3 А; в) 0,4 А; г) 0,5 А.

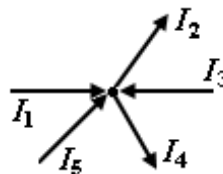
12. Ток в сопротивлении  $R_1$  можно найти по формуле...

- а)  $I = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}$ ; б)  $I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2 + r}$ ;  
в)  $I = \frac{\varepsilon}{R_1}$ ; г)  $I = \frac{\varepsilon}{R_2 + r}$ .



13. Какое равенство справедливо для данного узла?

- а)  $I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$ ;  
б)  $I_1 + I_3 + I_5 - I_2 - I_4 = 0$ ;  
в)  $I_1 - I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0$ ;



г)  $I_1 + I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$ .

Занятие 5

**РАБОТА И МОЩНОСТЬ ТОКА. ЗАКОН ДЖОУЛЯ – ЛЕНЦА**

**Основные формулы**

<p>Работа тока:</p> $A = qU = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t$	<p>Мощность тока:</p> $P = I \cdot U = I^2R = \frac{U^2}{R}$
<p>Полная мощность:</p> $P_0 = I\varepsilon$ $P_0 = I^2(R + r)$ $P_0 = \frac{\varepsilon^2}{R + r}$	<p>Мощность во внешней цепи (полезная мощность)</p> $P = I \cdot U = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$ $P = I\varepsilon - I^2r$ $P = \frac{\varepsilon^2R}{(R + r)^2}$
<p>Максимальная полезная мощность:</p> $P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$	<p>КПД источника тока:</p> $\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{U}{\varepsilon} = 1 - \frac{r}{R + r} = \frac{R}{R + r}$
<p>Закон Джоуля – Ленца в интегральной форме:</p> $Q = I^2Rt$	<p>Закон Джоуля – Ленца в дифференциальной форме:</p> $\omega = \sigma E^2$

**Задачи для аудиторных занятий**

1. В проводнике сопротивлением 5 Ом сила тока равномерно увеличивается от нуля до  $I_0$ . За 20 с в нём выделилось количество теплоты  $Q = 4\text{кДж}$ . Найти величину  $I_0$ .

Ответ: 11 А

2. При включении электромотора в сеть с напряжением 220 В он потребляет ток 5 А. Определить мощность, потребляемую мотором, и его КПД, если сопротивление обмотки мотора 6 Ом.

Ответ: 86,4 %

3. Источник тока с ЭДС замкнут на реостат. При силе тока 0,2 и 2,4 А на реостате выделяется одинаковая мощность. Найти:

- при какой силе тока на реостате выделяется максимальная мощность;
- чему равна сила тока короткого замыкания.

Ответ: 1,3 А; 2,6 А

4. При изменении внешнего сопротивления с 6 до 21 Ом КПД источника тока увеличился вдвое. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?

Ответ: 14 Ом

5. От батареи с ЭДС 600 В требуется передать энергию на расстояние 1 км. Мощность потребителя 5 кВт. Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных подводящих проводов 0,5 см.

Ответ: 588 Вт

### Задачи для самостоятельного решения

1. Сила тока в проводнике сопротивлением 50 Ом равномерно растет от 0 до 3 А за время 6 с. Определить выделившееся в проводнике за это время количество теплоты.

Ответ: 0,9 кДж

2. Даны два цилиндрических проводника: медный (удельное сопротивление меди 17 нОм/м) и железный (удельное сопротивление железа 98 нОм/м) одинаковой длины и одинакового сечения. Проводники соединены параллельно. Найти отношение мощностей, выделившихся в этих проводниках при прохождении тока.

Ответ: 5,8

3. Электроплитки, с сопротивлениями 120 Ом каждая, соединены параллельно друг с другом. Плитку включают в сеть последовательно с сопротивлением 50 Ом. Как изменится время, необходимое для нагревания на этой плитке чайника с водой до кипения, при перегорании одной из спиралей?

Ответ: увеличится в 1,22 раза.

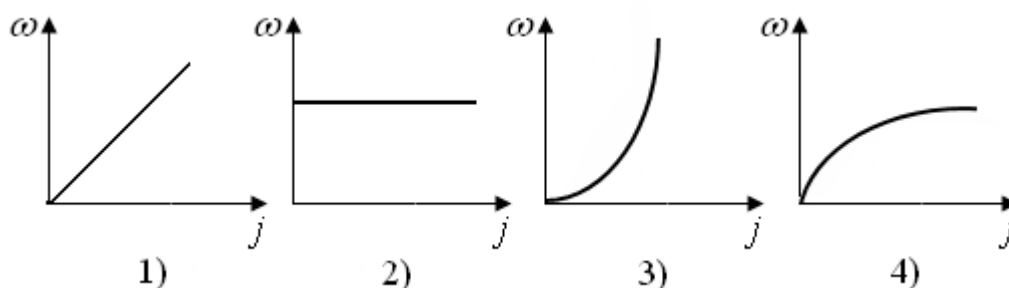
4. Определить КПД источника тока при силе тока в цепи 0,8 А, если ток короткого замыкания 2 А.

Ответ: 60 %

### Вопросы программированного контроля

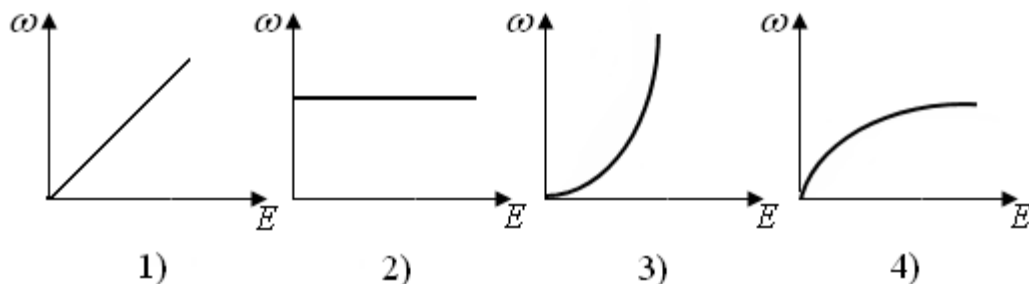
1. Какой из представленных графиков зависимости удельной тепловой мощности  $\omega$  от плотности тока  $j$  соответствует закону Джоуля – Ленца?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.



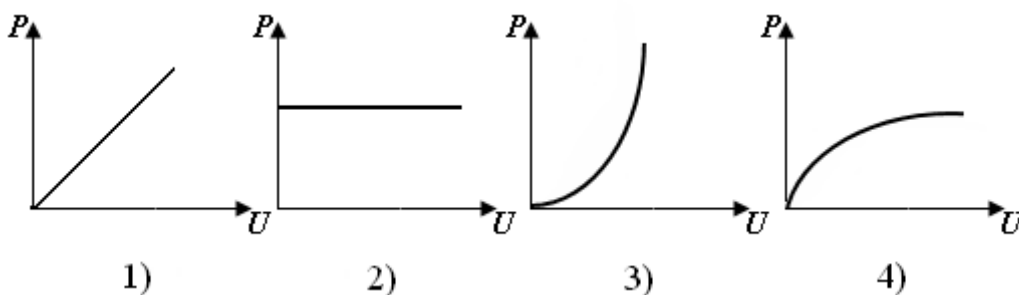
2. Какой из представленных графиков зависимости удельной тепловой мощности  $\omega$  от напряженности поля  $E$  соответствует закону Джоуля – Ленца?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.



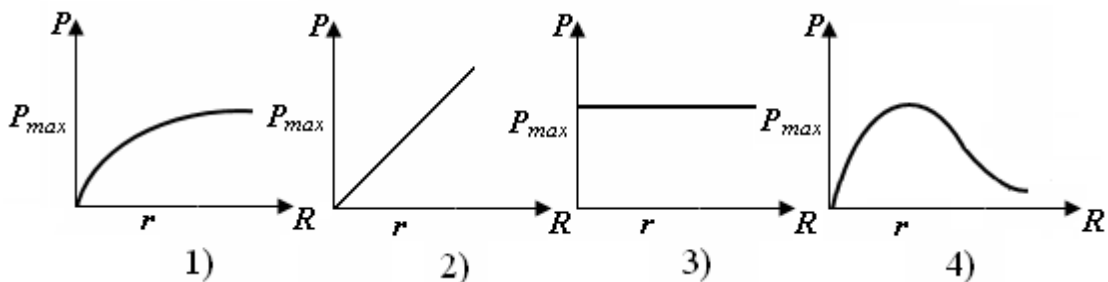
3. На каком графике верно представлена зависимость полезной мощности от напряжения при внешнем постоянном сопротивлении?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.



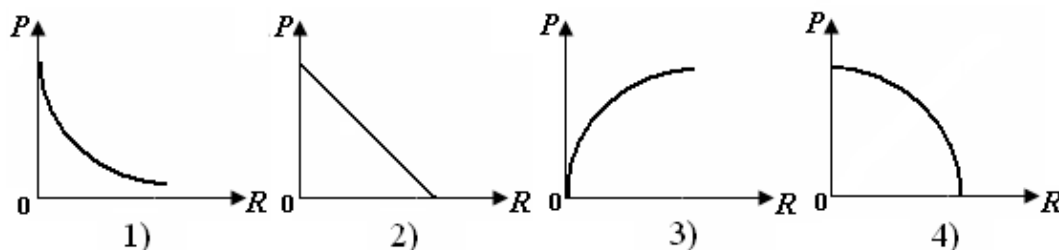
4. На каком графике верно представлена зависимость полезной мощности от внешнего сопротивления цепи?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.



5. Источник тока с ЭДС  $\epsilon$  и внутренним сопротивлением  $r$  замкнут на внешнее сопротивление. На каком из графиков верно представлена зависимость полной мощности  $P$  от внешнего сопротивления  $R$ ?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.



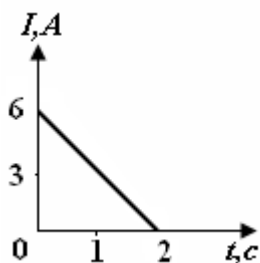
6. Мощность электронагревательного прибора при уменьшении длины нагревательной спирали **вдвое** и уменьшении напряжения в цепи **вдвое**...

- а) уменьшится в 8 раз;
- б) уменьшится в 2 раза;
- в) увеличится в 2 раза;
- г) не изменится.

7. Если значение ЭДС источника равно 5,5 В и во внешней цепи при силе тока 4 А развивается мощность 10 Вт, то внутреннее сопротивление источника тока равно...

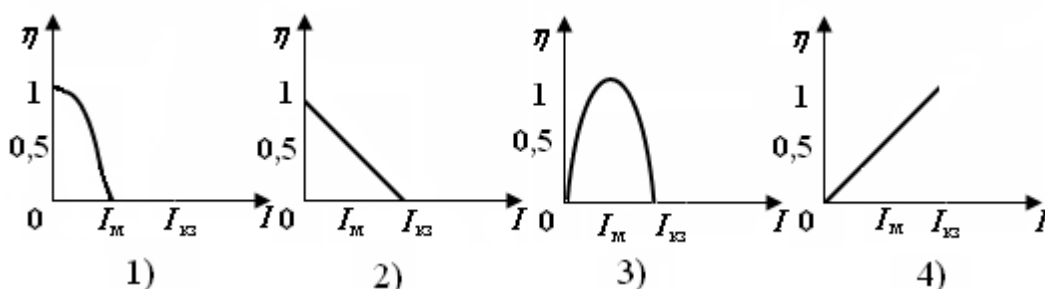
- а) 748 Ом;
- б) 75 Ом;
- в) 3 Ом;
- г) 4 Ом.

8. Сила тока в проводнике сопротивлением 20 Ом изменяется по закону, изображенному на рисунке. Количество теплоты, выделившееся в этом проводнике за 2 с, равно... Дж.



9. На каком графике верно представлена зависимость КПД источника тока от силы тока?

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

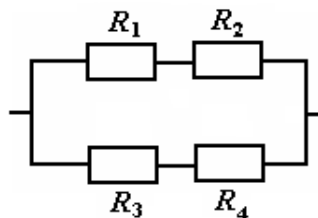


10. Если три лампочки мощностью по 36 Вт, рассчитанные на напряжение 12 В, соединить последовательно с источником питания ( $\varepsilon = 12$  В), то мощность каждой лампочки будет равна...

- а) 3 Вт;
- б) 12 Вт;
- в) 6 Вт;
- г) 4 Вт.

11. На изображенной схеме:  $R_1 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 2 \text{ Ом}$ . На каком сопротивлении при прохождении тока будет выделяться наибольшее количество теплоты за единицу времени?

- а)  $R_1$ ;
- б)  $R_2$ ;
- в)  $R_3$ ;
- г)  $R_4$ .



12. Внутреннее сопротивление аккумулятора равно 7 Ом. Как изменится КПД электрической цепи при увеличении внешнего сопротивления с 3 до 10,5 Ом?

- а)  $\eta_2/\eta_1 = 2$ ; б)  $\eta_2/\eta_1 = 0,5$ ; в)  $\eta_2/\eta_1 = 3,5$ ; г)  $\eta_2/\eta_1 = 1,75$ .

13. ЭДС батареи 20 В, сила тока в цепи 4 А при сопротивлении внешней цепи 2 Ом. КПД батареи равен...

- а) 40 %; б) 60 %; в) 75 %; г) 35 %.

### Занятие 6

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ

### Основные формулы

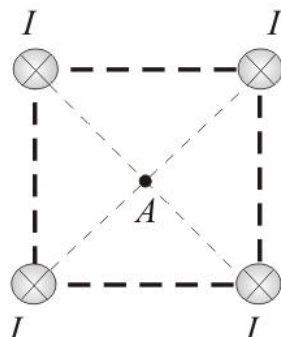
<p>Закон Био – Савара – Лапласа:</p> $dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Id \sin \varphi}{r^2}$	<p>Принцип суперпозиции: <math>\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i</math>,</p> $\vec{B} = \int d\vec{B}$
<p>Магнитная индукция прямолинейного короткого проводника с током:</p> $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)$	<p>Магнитная индукция бесконечно длинного проводника с током:</p> $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
<p>Магнитная индукция кругового тока в произвольной точке на оси:</p> $B = \frac{\mu_0 I R^2}{2\sqrt{(R^2 + a^2)^3}}$	<p>Магнитная индукция кругового тока в центре витка:</p> $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$
<p>Магнитная индукция на оси короткого соленоида:</p> $B = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$	<p>Магнитная индукция на оси бесконечно длинного соленоида:</p> $B = \mu_0 I n = \frac{\mu_0 I N}{L}$
<p>Индукция магнитного поля внутри тороида:</p> $B = \frac{\mu_0 I N}{2\pi r}$	<p>Связь между магнитной индукцией и напряжённостью:</p> $B = \mu_0 \mu H$



## Задачи для аудиторных занятий

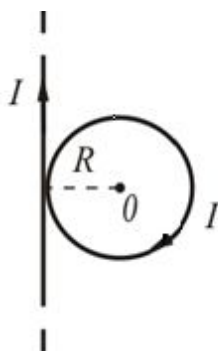
1. Найти суммарную магнитную индукцию в центре квадрата со стороной 2 см, в вершинах которого находятся прямые бесконечно длинные проводники с одинаковыми токами по 30 А, расположенными перпендикулярно плоскости чертежа. Диагональ квадрата равна 2 см.

Ответ: 2,4 мТл



2. Бесконечно длинный прямолинейный проводник с током имеет круговую петлю радиусом 80 см. Определить силу тока в проводнике, если известно, что в точке О индукция магнитного поля равна 12,5 мкТл.

Ответ: 12 А



3. По двум круговым контурам радиусами  $R_1$  и  $R_2$  ( $R_1 = 2R_2$ ) текут токи  $I_1$  и  $I_2$  ( $I_2 = 4I_1$ ). Чему равно отношение магнитных моментов этих контуров ( $p_{m1} / p_{m2}$ )?

Ответ: 1

4. Определить, какое число витков должно быть в каждом сантиметре длины бесконечно длинного соленоида, чтобы индукция магнитного поля внутри соленоида была бы не менее 7,5 мТл при токе 4 А.

Ответ: 15

5. Определить индукцию магнитного поля в центре проволочной равно-сторонней треугольной рамки со стороной 15 см, если по ней течет ток 5 А.

Ответ: 60 мкТл

6. По прямому бесконечному проводнику течет ток 5 А. Определить, пользуясь теоремой о циркуляции вектора  $\vec{B}$ , индукцию магнитного поля в точке, расположенной на расстоянии 10 см от проводника.

Ответ: 20 мкТл

### Задачи для самостоятельного решения

1. Найти магнитный момент кругового витка с током, если радиус витка 100 мм и индукция магнитного поля в его центре 6 мкТл.

Ответ: 30 мА·м<sup>2</sup>

2. Из проволоки длиной 1 м сделана квадратная рамка. По ней течет ток силой 10 А. Найти суммарную индукцию магнитного поля в центре рамки.

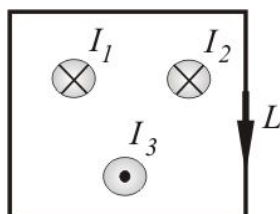
Ответ: 45 мкТл

3. Определить, какое число витков должно быть в каждом сантиметре длины бесконечно длинного соленоида, чтобы индукция магнитного поля внутри соленоида была бы не менее 7,5 мТл при токе 4 А.

Ответ: 15

4. Прямолинейные проводники с токами расположены перпендикулярно плоскости чертежа:  $I_1 = 5$  А,  $I_2 = 1$  А,  $I_3 = 3$  А. Чему равна циркуляция вектора магнитной индукции по контуру L?

Ответ: 3,77 мкТл·м

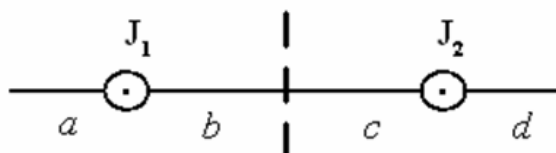


5. Определить модуль индукции результирующего поля при наложении двух однородных магнитных полей с магнитными индукциями, равными соответственно 0,3 и 0,4 Тл, друг на друга так, что угол между векторами индукций полей равен 60°.

Ответ: 0,5 Тл

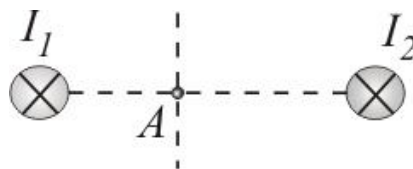
### Вопросы программированного контроля

1. На рисунке изображены сечения двух параллельных и прямолинейных длинных проводников с одинаково направленными токами, причем  $J_1 = 2J_2$ . В каком промежутке магнитная индукция равна нулю?



2. Куда направлен результирующий вектор магнитной индукции в точке А от двух прямолинейных проводников с равными токами ( $I_1 = I_2$ ), текущими в одном направлении «от нас»?

- 1) влево;
- 2) вправо;
- 3) вниз;
- 4) вверх.

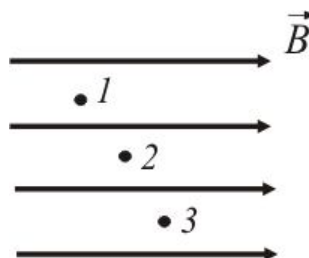


3. Какие утверждения справедливы для линий магнитной индукции?

- 1) силовые линии магнитного поля выходят из северного полюса магнита и входят в южный;
- 2) силовые линии в вакууме могут иметь разрывы;
- 3) силовые линии всегда замкнуты;
- 4) силовые линии могут пересекаться.

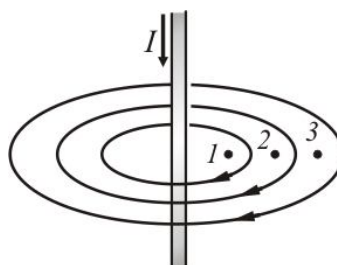
4. На рисунке изображены силовые линии магнитного поля внутри бесконечно длинного соленоида. Какое соотношение верно для модулей магнитной индукции в отмеченных точках?

- 1)  $B_1 = B_2 = B_3$ ;
- 2)  $B_1 > B_2 > B_3$ ;
- 3)  $B_1 < B_2 < B_3$ ;
- 4)  $B_1 = B_2 = B_3 = 0$ .

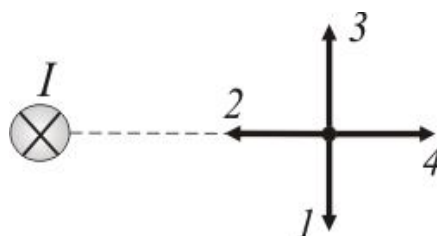


5. На рисунке изображены силовые линии магнитного поля прямого проводника с током. Какое соотношение является верным для модулей индукции в отмеченных точках?

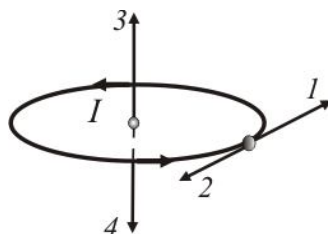
- 1)  $B_1 = B_2 = B_3$ ;
- 2)  $B_1 = B_2$ ;  $B_3 = 0$ ;
- 3)  $B_1 > B_2 > B_3$ ;
- 4)  $B_1 < B_2 < B_3$



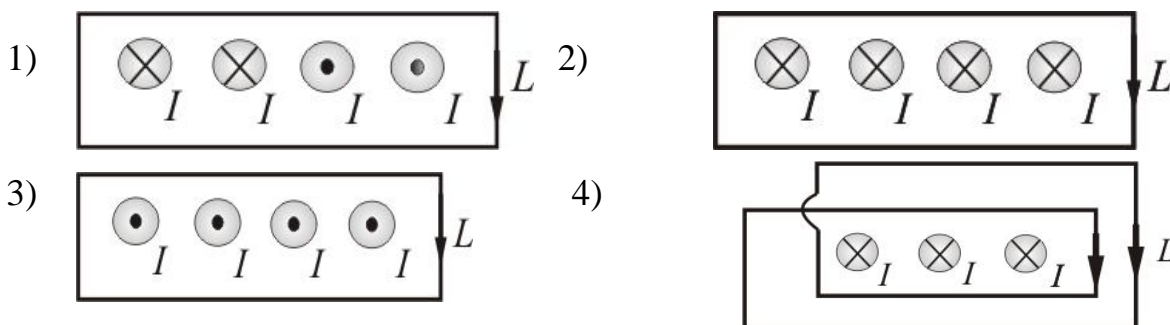
6. На рисунке изображен проводник, расположенный перпендикулярно плоскости чертежа. Ток в проводнике течет «от нас». Как направлен вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  в точке А?



7. По круговому витку, расположенному перпендикулярно плоскости чертежа, течет ток  $I$ . Какой из векторов совпадает с направлением вектора индукции магнитного поля тока?



8. В каком случае циркуляция вектора магнитной индукции поля, создаваемого токами, направление которых перпендикулярно плоскости чертежа, по контуру  $L$  максимальна?



Занятие 7  $dA = I \cdot d\Phi$

## СИЛЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ. РАБОТА СИЛ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

### Основные формулы

Сила Ампера: $F = I B l \sin\alpha$	Сила Лоренца: $F_L = qvB \sin\alpha$
Закон взаимодействия параллельных токов: $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi d}$	Радиус окружности движения заряда в магнитном поле: $R = \frac{mv}{qB}$
Элементарный поток магнитной индукции: $d\Phi = B dS \cos\alpha$	Магнитный поток сквозь произвольную поверхность $S$ : $\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_{(S)} B_n dS$
Элементарная работа сил магнитного поля по перемещению элемента тока: $dA = I \cdot d\Phi$	Работа сил магнитного поля по перемещению прямого проводника с током: $A = I \cdot \Phi$

<p>Работа сил магнитного поля при перемещении в магнитном поле замкнутого контура с током:</p> $A = I \Delta \Psi$ <p><math>\Psi</math> – потокосцепление</p>	<p>Вращающий момент сил, действующий на контур с током:</p> $M = P_m \cdot B \cdot \sin \alpha$ <p>Магнитный момент контура с током:</p> $P_m = IS$
---	---

### Задачи для аудиторных занятий

1. В магнитное поле с индукцией 2 Тл перпендикулярно его силовым линиям помещён проводник длиной 5 см. Сила тока в проводнике 1 А. Найти силу, действующую на проводник.

Ответ: 0,1 Н

2. Постоянный ток силой в 1 А проходит по двум бесконечно длинным проводникам, расположенным на расстоянии 1 м друг от друга в вакууме. Найти силу взаимодействия на каждый метр длины проводника.

Ответ: 0,2 мкН

3. Электрон, двигаясь со скоростью 1,6 Мм/с, влетел в однородное магнитное поле, индукция которого 5 мТл, и стал вращаться по круговой орбите. Найти радиус орбиты электрона.

Ответ: 1,82 мм

4. На протон, движущийся со скоростью 2 Мм/с под углом  $30^\circ$  к линиям индукции, действует сила 0,32 пН. Найти индукцию магнитного поля.

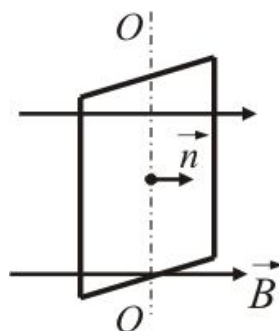
Ответ: 2 Тл

5. Проводник массы 1 г и длины 10 см, по которому протекает ток 1 А, находится в состоянии равновесия в однородном магнитном поле. Найти индукцию магнитного поля.

Ответ: 0,1 Тл

6. Прямоугольную рамку площадью  $S$ , расположенную в однородном магнитном поле с индукцией  $B$  так, что ее плоскость перпендикулярна полю, повернули вокруг оси  $OO$  на  $180^\circ$ . Найти изменение магнитного потока через рамку при таком повороте.

Ответ:  $2BS$



7. Чему равна работа по перемещению замкнутого контура с током 1 А в однородном магнитном поле с индукцией 1 Тл, если площадь в начальном положении 100 см<sup>2</sup>, в конечном – 120 см<sup>2</sup>?

Ответ: – 2 мДж

### Задачи для самостоятельного решения

1. По тонкому проволочному кольцу радиусом 20 см течет ток 100 А. Перпендикулярно плоскости кольца возбуждено однородное магнитное поле с индукцией  $2 \cdot 10^{-2}$  Тл. Найти силу, растягивающую кольцо.

Ответ: 0,4 Н

2. Шины генератора в виде двух параллельных медных полос по 2 м отстоят друг от друга на расстоянии 20 см. Определить силу взаимного отталкивания шин в случае короткого замыкания, когда по ним течет ток силой 10 000 А.

Ответ: 200 Н

3. Электрон, обладая скоростью  $1,75 \cdot 10^6$  м/с, влетел в однородное магнитное поле под углом 30°. и стал двигаться по винтовой линии радиусом 20 см. Найти индукцию магнитного поля и шаг винтовой линии.

Ответ: 25 мкТл; 2,18 м

4. Электрон влетает параллельно силовым линиям магнитного поля. Если величина магнитной индукции равна 0,1 Тл, а скорость электрона 0,1 Мм/с, определить величину силы Лоренца, действующей на электрон.

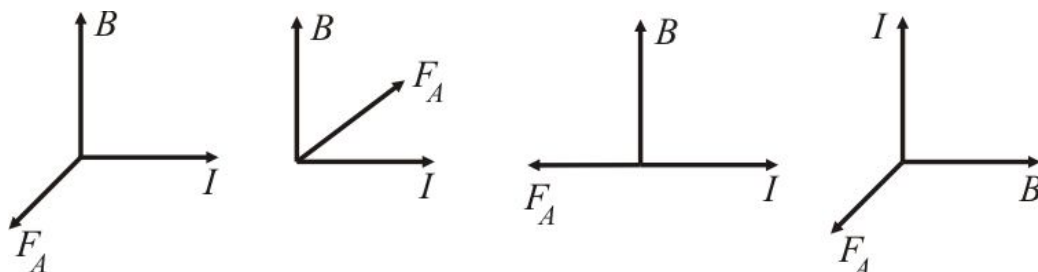
Ответ: 0 Н

5. Замкнутый круговой контур радиусом 2 см с током 2 А помещен в однородное магнитное поле с напряженностью 160 кА/ м так, что плоскость контура нормальна к линиям магнитной индукции поля. Чему равна работа, затраченная на поворот контура вокруг оси, совпадающей с его диаметром на угол 90°?

Ответ: 0,5 мДж

### Вопросы программированного контроля

1. Укажите, в каком случае показано верное направление силы Ампера?



1)

2)

3)

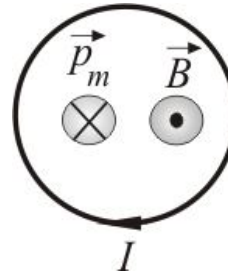
4)

2. Заряженная частица влетела в магнитное поле под некоторым углом  $\alpha$  к вектору магнитной индукции  $\vec{B}$  и начала двигаться по окружности. Этот угол равен...

- 1)  $\alpha = 0$ ; 2)  $\alpha = \frac{\pi}{4}$ ; 3)  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ; 4)  $\alpha = \pi$ .

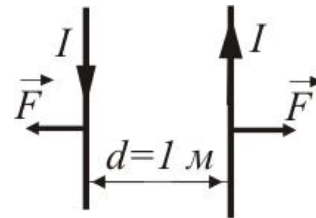
3. Круговой контур с током в магнитном поле находится в состоянии равновесия (как показано на рисунке). При этом на рамку со стороны поля будут действовать силы, которые...

- 1) её растягивают;  
2) её сжимают;  
3) уравнивают друг друга;  
4) направлены в одну сторону.



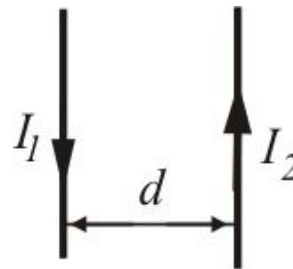
4. Чему равна сила тока, который, протекая по двум бесконечно длинным, проводникам бесконечно малого сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м, создаёт силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н на каждый метр длины проводника.

- 1) 1 А;  
2) 0,1 А;  
3) 0;  
4) 10 А.

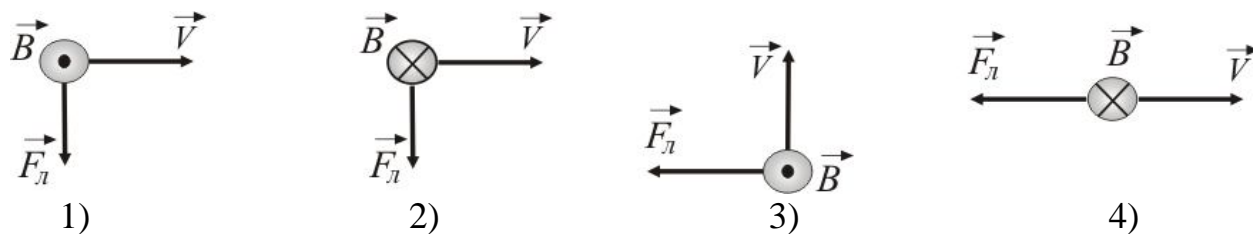


5. Два параллельных проводника с токами, текущими в противоположных направлениях,

- 1) будут притягиваться;  
2) будут поворачиваться на угол  $\alpha$ ;  
3) будут отталкиваться;  
4) не будут взаимодействовать.



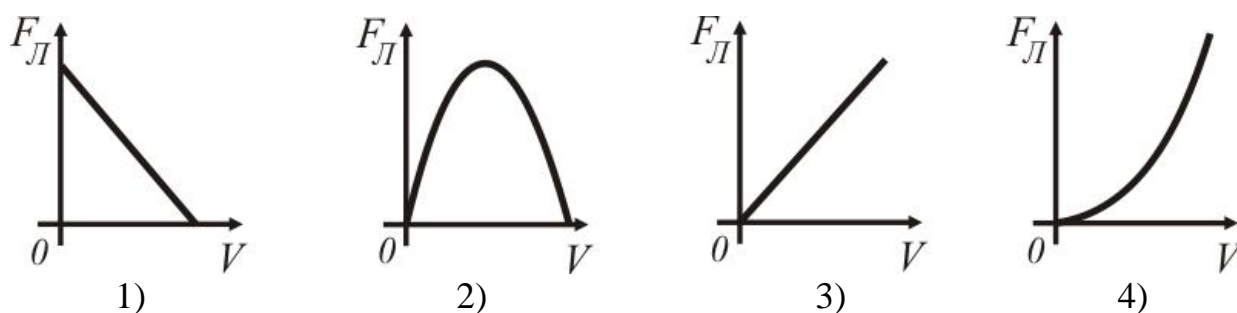
6. На каком рисунке правильно показано направление векторов индукции магнитного поля  $\vec{B}$ , силы Лоренца  $\vec{F}_L$ , скорости  $\vec{v}$  для протона?



7. Заряженная частица движется по окружности в магнитном поле. При этом период  $T$  её обращения можно рассчитать по формуле...

1)  $T = \frac{2\pi m}{qB}$ ;    2)  $T = \frac{qB}{2\pi m}$ ;    3)  $T = \frac{2\pi B}{qm}$ ;    4)  $T = \frac{2\pi q}{mB}$ .

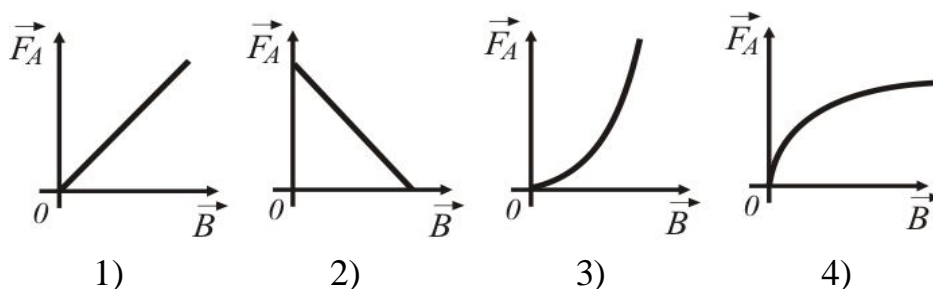
8. Зависимость силы Лоренца от скорости движения заряженной частицы в однородном магнитном поле верно показана на рисунке...



9. Частица в однородном магнитном поле движется по винтовой линии. По какой формуле можно вычислить шаг винтовой линии  $h$ ?  $V$  – скорость частицы,  $T$  – период обращения,  $\alpha$  – угол между вектором скорости  $\vec{V}$  и вектором магнитной индукции  $\vec{B}$ .

1)  $h = V \cdot T$ ;    2)  $h = V \cdot T \cos \alpha$ ;    3)  $h = V \cdot T \sin \alpha$ ;    4)  $h = V \cdot T^2 \cos \alpha$ .

10. Укажите, на каком из рисунков приведена верная зависимость силы Ампера от величины индукции магнитного поля.



Занятие 8

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

**Основные формулы**



<p>Закон Фарадея для электромагнитной индукции:</p> $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$	<p>ЭДС самоиндукции:</p> $\varepsilon_{si} = -L\frac{dI}{dt}$
<p>Временная зависимость силы тока при замыкании цепи:</p> $I = \frac{\varepsilon}{R} \left( 1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right)$	<p>Временная зависимость силы тока при размыкании цепи:</p> $I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} = \frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{R}{L}t}$
<p>ЭДС взаимной индукции:</p> $\varepsilon_1 = -L_{12} \frac{dI_2}{dt}$ $\varepsilon_2 = -L_{21} \frac{dI_1}{dt}$	<p>ЭДС индукции в движущемся проводнике:</p> $\varepsilon_i = vBL$ <p>ЭДС индукции во вращающемся проводнике:</p> $\varepsilon_i = 0,5\omega BL^2$
<p>Индуктивность бесконечно длинного соленоида:</p> $L = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{l}$	<p>Энергия неоднородного магнитного поля:</p> $W_m = \int_v w dV$
<p>Объёмная плотность энергии:</p> $w = \frac{BH}{2} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu}$	<p>Энергия магнитного поля:</p> $W_m = \frac{LI^2}{2}$

### Задачи для аудиторных занятий

1. Сила тока, протекающего в катушке, изменяется по закону  $I = 5\sin 100t$ . Найти индуктивность катушки, если максимальное значение ЭДС самоиндукции, наведенное на концах катушки, равно 50 В.

Ответ:  $L = 100$  мГн

2. Проволочное кольцо радиусом 20 см лежит на столе. Какой заряд протечет по кольцу, если его повернуть с одной стороны на другую? Сопротивление кольца равно 2 Ом. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли 50 мкТл.

Ответ: 6 мкКл

3. Цепь состоит из катушки с индуктивностью 1 Гн и источника тока. Найти сопротивление катушки, если после размыкания цепи сила тока уменьшилась в 1000 раз через 0,69 с.

Ответ: 10 Ом

4. В однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл вращается с постоянной угловой скоростью 50 рад/с вокруг вертикальной оси стержень длиной 0,4 м. Найти ЭДС индукции в стержне, если ось вращения проходит через конец стержня параллельно линиям магнитной индукции.

Ответ: 0,4 В

5. Два соленоида одинаковой длины и равного сечения, индуктивности которых 0,64 и 1 Гн, вставлены один в другой. Определить взаимную индуктивность соленоидов.

Ответ: 0,8 Гн

6. Индуктивность соленоида при длине 1 м и площади поперечного сечения  $20 \text{ см}^2$  равна 0,4 мГн. Найти силу тока, при которой объёмная плотность энергии магнитного поля в соленоиде  $0,1 \text{ Дж/м}^3$ .

Ответ: 1 А

7. По длинному прямому проводнику круглого сечения с магнитной проницаемостью 4000 течет ток 10 А. Найти энергию магнитного поля внутри проводника в расчете на единицу его длины.

Ответ: 0,01 Дж/м

### Задачи для самостоятельного решения

1. Тороид с воздушным сердечником содержит 20 витков на 1 см. Найти объёмную плотность энергии магнитного поля в тороиде, если по его обмотке протекает ток 3 А.

Ответ: 22,6 Дж/м<sup>3</sup>

2. Сила тока, протекающего в катушке, изменяется по закону  $I = 5\sin 100t$ . Индуктивность катушки 100 мГн. Найти максимальное значение ЭДС самоиндукции, наведенное на концах катушки.

Ответ: 50 В

3. Сила тока в проводящем круговом контуре индуктивностью 0,5 Гн изменяется с течением времени по закону  $I = 4 - 0,3t$ . Определить абсолютную величину ЭДС самоиндукции.

Ответ: 0,15 В

4. Индуктивность рамки 40 мГн. За время 0,01 с сила тока, протекающего в рамке, увеличилась на 0,2 А. Найти в рамке ЭДС самоиндукции.

Ответ: 0,8 В

5. В магнитное поле, изменяющееся с течением времени по закону

$B = 0,1\cos 4\pi t$ , помещена квадратная рамка со стороной 10 см. Нормаль к рамке совпадает с направлением изменения поля. Найти закон изменения ЭДС индукции в рамке.

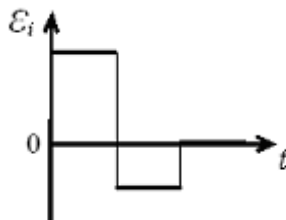
Ответ:  $-0,004\pi \sin 4\pi t$

## Вопросы программированного контроля

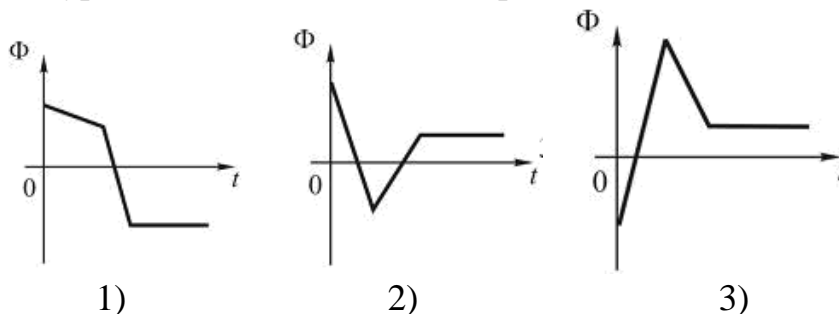
1. При размыкании цепи, содержащей индуктивность  $L$  с током  $I$ , выделяется тепло, равное...

- 1)  $LI$ ;    2)  $0,5 L^2 I^2$ ;    3)  $L^2 I$ ;    4)  $0,5 LI^2$ .

2. На рисунке показана зависимость ЭДС индукции от времени.

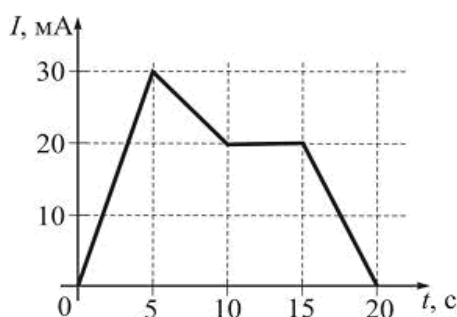


На каком графике представлена правильная зависимость пронизывающего в замкнутом контуре магнитного потока от времени?



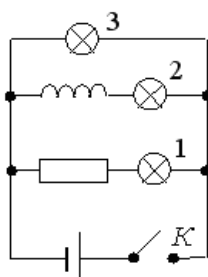
3. На рисунке показана зависимость силы тока от времени в электрической цепи с индуктивностью  $1 \text{ мГн}$ . Модуль среднего значения ЭДС самоиндукции в интервале от 5 до 10 (в мкВ) равен...

- 1) 0;  
2) 10;  
3) 20;  
4) 2.



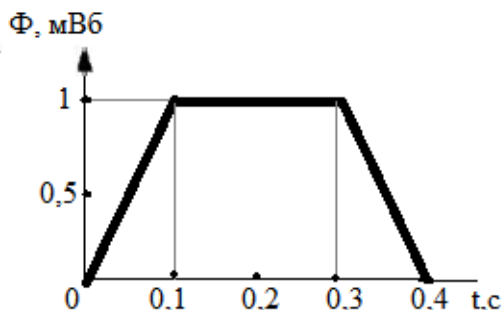
4. На рисунке представлена электрическая схема, составленная из источника тока, катушки, резистора и трех ламп. После замыкания ключа  $K$  позже всех остальных загорится лампа номер...

- 1) 2;  
2) 3;  
3) 1.



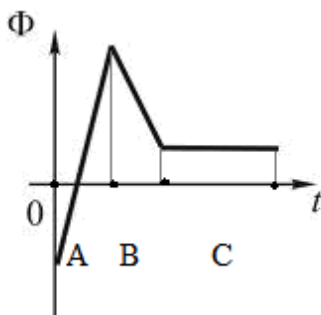
5. На рисунке показана зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый контур, от времени. Максимальное значение ЭДС индукции в контуре равно...

- 1) 0,01 В;
- 2) 10 В;
- 3) 0,001 В;
- 4) 0,0025 В.

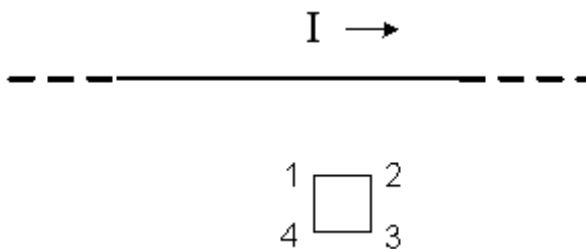


6. На рисунке показана зависимость магнитного потока, пронизывающего некоторый контур, от времени. ЭДС индукции в контуре **не возникает** на интервале...

- 1) В;
- 2) А;
- 3) С.



7. На рисунке показан длинный проводник с током, в одной плоскости с которым находится небольшая проводящая рамка.



При выключении в проводнике тока заданного направления, в рамке...

- 1) возникнет индукционный ток в направлении 1-2-3-4;
- 2) возникнет индукционный ток в направлении 4-3-2-1;
- 3) индукционного тока не возникнет.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов С. В. Электростатика : практикум / С. В. Данилов, В. А. Егорова, Т. Н. Кондратьева. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2006. – 55 с.
2. Постоянный ток : практикум / Н. А. Прокудина [и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2006. – 52 с.
3. Бердинская Н. В. Электромагнетизм : практикум / Н. В. Бердинская, В. К. Волкова, В. П. Шабалин. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2006. – 64 с.
4. Брижанская Ю. А. Электрическое поле в вакууме : тестовые задания / Ю. А. Брижанская, Л. В. Брижанский, Г. П. Иванова. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2007. – 36 с.
5. Суриков В. И. Проводники и диэлектрики в электрическом поле. Конденсаторы. Энергия электрического поля : тестовые задания / В. И. Суриков, Т. Н. Кондратьева, А. И. Гапеев. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2006. – 24 с.
6. Постоянный ток : тестовые задания / Н. А. Прокудина [и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2007. – 32 с.
7. Магнитное поле в вакууме : тестовые задания / В. Н. Иванов [и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2007. – 26 с.
8. Калистратова Л. Ф. Магнитное поле в веществе. Электромагнитная индукция, энергия магнитного поля : тестовые задания / Л. Ф. Калистратова, С. С. Ясько. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2009. – 28 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Занятие 1. Электростатическое поле в вакууме .....	3
Занятие 2. Теорема Гаусса. Работа сил электрического поля.....	7
Занятие 3. Емкость проводника. Конденсаторы. Энергия электростатического поля.....	11
Занятие 4. Закон Ома. Расчет электрических цепей .....	15
Занятие 5. Работа и мощность тока. Закон Джоуля – Ленца.....	20
Занятие 6. Магнитное поле в вакууме .....	24
Занятие 7. Силы магнитного поля. Работа сил магнитного поля.....	28
Занятие 8. Электромагнитная индукция. Энергия магнитного поля. ....	32
Библиографический список .....	37

Редактор М.А. Болдырева  
Компьютерная верстка – О.Г. Белименко  
ИД № 06039 от 12.10.2001  
Сводный темплан 2011 г.  
Подписано в печать 03.03.11. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Отпечатано на дупликаторе.  
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 2,50. Уч.-изд. л. 2,50.  
Тираж 250 экз. Заказ 167.

---

Издательство ОмГТУ. 644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12



