



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Рубцовский индустриальный институт (филиал)**  
**ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова»**

**В.И. БАХМАТ**

## **ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ**

**Методическое пособие и контрольные задания для студентов  
дневной формы обучения направления «Электроэнергетика  
и электротехника»**

**Рубцовск 2015**

УДК 530.1

Бахмат В.И. Введение в физику: Методическое пособие и контрольные задания для студентов дневной формы обучения направления «Электроэнергетика и электротехника» / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2015.- 63 с.

В пособии кратко изложен курс физики средней школы. Включены разделы «Механика», «Гидродинамика. Молекулярная физика. Термодинамика», «Электромагнетизм», «Колебания и волны. Оптика. Теория относительности. Физика атома». Приведены основные законы и формулы, показано решение задач. Для проверки знаний по каждому разделу физики приведены тестовые задания.

Пособие призвано оказать помощь в систематизации и обобщении знаний по курсу физики VII-XI классов.

Рассмотрено и одобрено на заседании  
НМС Рубцовского индустриального  
института  
Протокол № 3 от 23.04.15 г.

Рецензент:

к.т.н., доцент Гончаров С.А.

© Рубцовский индустриальный институт, 2015

## Содержание

Раздел I. Механика	4
Тема 1. Кинематика	4
Тема 2. Динамика. Законы сохранения. Статика	7
Раздел II. Гидродинамика. Молекулярная физика. Термодинамика	10
Тема 3. Гидродинамика	10
Тема 4. Молекулярная физика	11
Тема 5. Термодинамика	15
Раздел III. Электромагнетизм	15
Тема 6. Электростатика	15
Тема 7. Законы постоянного тока	17
Тема 8. Магнетизм	19
Раздел IV. Колебания и волны. Оптика. Теория относительности.	
Физика атома	20
Тема 9. Колебания и волны	20
Тема 10. Оптика	22
Тема 11. Теория относительности. Физика атома	24
Примеры решения задач	25
Варианты контрольных работ	
Контрольная работа № 1	39
Контрольная работа № 2	44
Контрольная работа № 3	49
Контрольная работа № 4	60

## Раздел 1. Механика

### Тема 1. Кинематика

Координата  $x$  – точка, определяющая положение тела в пространстве в данный момент времени.

Путь – это длина траектории тела. Путь – скалярная величина.

Перемещение  $\vec{S}$  – это вектор, соединяющий начальное и конечное положения тел и направленный к конечному положению.

Время  $t$  – это количественная мера протяженности процесса. Время – скалярная и всегда положительная величина. Единица времени в СИ – секунда (с). Секунда – основная единица СИ.

Скорость  $\vec{v}$  – это количественная характеристика быстроты перемещения. Скорость (по модулю) при равномерном движении – это отношение пути ко времени, за которое этот путь пройден. Скорость – векторная величина. Направление вектора скорости  $\vec{v}$  совпадает с направлением вектора перемещения  $\vec{S}$ . Единица скорости в СИ – метр в секунду (м/с).

Средняя путевая скорость — это отношение пути ко времени, за которое этот путь пройден:  $v_{\text{cp}} = \frac{S}{t}$ .

Мгновенная скорость – это скорость в данный момент времени или в данной точке траектории.

Мгновенная скорость равна первой производной координаты тела по времени:  $v = x'$ .

Быстроту изменения скорости характеризует ускорение  $a$ .

Ускорение  $\vec{a}$  (по модулю) при равноускоренном движении – это отношение изменения скорости ко времени, за которое это изменение произошло:  $a = \frac{v-v_0}{t}$ .

При любом переменном движении среднее ускорение есть отношение изменения скорости ко времени, за которое это изменение произошло.

Мгновенное ускорение есть первая производная скорости по времени или вторая производная координаты по времени:  $a = v' = x''$ .

### Виды прямолинейного движения

#### Равномерное движение

$$x = x_0 + v_x t, S = vt.$$

Здесь  $x$  – конечная координата (м),  $x_0$  – начальная координата (м),  $v_x$  – проекция скорости на ось координат (м/с),  $v$  – модуль скорости (м/с).

#### Равноускоренное движение

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}; a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v-v_0}{t}; v = v_0 + at;$$
$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}; S = v_{\text{cp}} t; v_{\text{cp}} = \frac{v_0 + v}{2}; v^2 - v_0^2 = 2aS; S_n = \frac{a}{2}(2n - 1).$$

Здесь  $x$  – конечная координата (м),  $x_0$  – начальная координата (м),  $a$  – ускорение (м/с<sup>2</sup>),  $\Delta v$  – изменение скорости (м/с),  $v$  – модуль конечной скорости

(м/с),  $v_{0x}$  – проекция начальной скорости на ось координат (м/с),  $v_{cp}$  – средняя скорость (м/с),  $t$  — время движения (с),  $S_n$  – путь, пройденный за  $n$ -ю секунду равноускоренного движения без начальной скорости,  $n$  – порядковый номер этой секунды, считая от начала движения.

### **Движение с переменным ускорением**

$$v = x' \text{ или } v = S'; \quad a = v'; \quad a = x'' \text{ или } a = S'', \quad a_{cp} = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

Здесь  $x'$  - первая производная координаты по времени (м/с),  $S'$  - первая производная пути по времени (м/с),  $a_{cp}$  - среднее ускорение (м/с<sup>2</sup>),  $v'$  - первая производная скорости по времени (м/с),  $x''$  - вторая производная координаты по времени (м/с<sup>2</sup>),  $S''$  - вторая производная пути по времени.

### **Правило сложения классических скоростей**

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_0.$$

Здесь  $\vec{v}$  - скорость тела относительно неподвижной системы отсчета (абсолютная скорость),  $\vec{v}_1$  - скорость тела относительно подвижной системы отсчета (относительная скорость),  $\vec{v}_0$  - скорость подвижной системы отсчета относительно неподвижной (переносная скорость).

### **Свободное падение**

**Тело падает вниз с начальной скоростью  $v_0 \neq 0$**

$$h = v_{cp}t; \quad v_{cp} = \frac{v_0 + v}{2}; \quad h = v_0t + \frac{gt^2}{2}; \quad v = v_0 + gt; \quad v^2 - v_0^2 = 2gh.$$

**Тело падает вниз без начальной скорости  $v_0 = 0$**

$$h = v_{cp}t; \quad v_{cp} = \frac{v}{2}; \quad h = \frac{gt^2}{2}; \quad v = gt; \quad v^2 = 2gt.$$

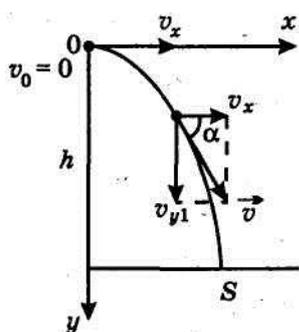
**Тело, брошенное вверх, не достигло высшей точки  $v \neq 0$**

$$h = v_{cp}t; \quad v_{cp} = \frac{v_0 + v}{2}; \quad h = v_0t - \frac{gt^2}{2}; \quad v = v_0 - gt; \quad v^2 - v_0^2 = 2gh.$$

**Тело, брошенное вверх, достигло верхней точки  $v = 0$**

$$h = v_{cp}t; \quad v_{cp} = \frac{v_0}{2}; \quad h = \frac{gt^2}{2}; \quad v_0 = gt; \quad v_0^2 = 2gh.$$

**Тело брошено горизонтально**



$$S = v_x t; \quad h = \frac{gt^2}{2}; \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_x}; \quad v_y = gt.$$

Рис.1

Если тело, расположенное на высоте  $h$ , брошено под углом  $\alpha$  к горизонту со скоростью  $v_0$ , то в отсутствие сопротивления среды оно тоже будет двигаться по параболе, перемещаясь в горизонтальном направлении со скоростью  $v_x = v_0 \cos \alpha$  и одновременно свободно падая с начальной вертикальной скоростью  $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$  и ускорением свободного падения  $g$ . На рис. 2 показана такая парабола и приведены некоторые формулы, используемые при решении таких задач.

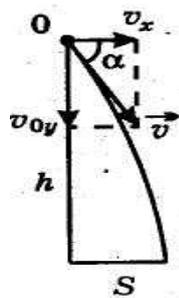


Рис.2

$$S = v_x t; \quad h = v_{0y} t + \frac{gt^2}{2};$$

$$v_y = v_{0y} + gt; \quad v_x = v_0 \cos \alpha;$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

Если тело брошено с земли со скоростью  $v_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту, то в отсутствие сопротивления его движению оно тоже станет двигаться по параболе, перемещаясь горизонтально со скоростью  $v_x = v_0 \cos \alpha$  и одновременно двигаясь равнозамедленно вверх с начальной скоростью  $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$  и с отрицательным ускорением свободного падения  $-g$ . Так оно будет двигаться, пока не достигнет высшей точки, где вертикальная составляющая его скорости  $v_y$  станет равна нулю, но горизонтальная составляющая  $v_x$  останется прежней. Затем, продолжая движение по горизонтали с прежней скоростью, тело станет свободно падать без начальной вертикальной скорости. Скорость

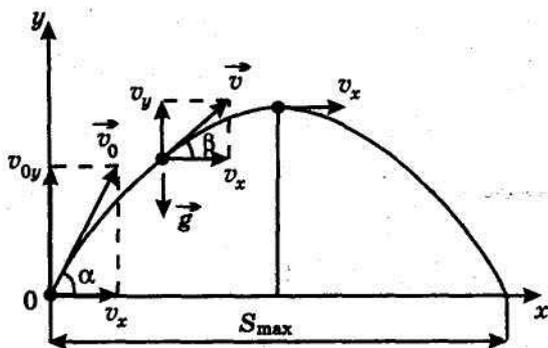


Рис.3

$v_0$ , с которой тело было брошено с земли, будет равна скорости, с которой оно упадет на землю, и угол  $\alpha$ , под которым оно было брошено, тоже будет равен углу, под которым упадет. В каждой точке траектории ускорение тела направлено вниз и равно ускорению свободного падения. Траектория такого движения изображена на рис. 3, и там же приведены некоторые формулы, наиболее часто используемые при решении соответствующих задач.

Если из условия задачи следует, что два тела (или более) столкнулись на одной высоте, это значит, что их координата  $y$  стала одинакова.

$$S_{max} = v_x t_{общ}; \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha; \quad v_x = v_0 \cos \alpha;$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt; \quad h_{max} = \frac{v_{0y}^2}{2g}; \quad tg \beta = \frac{v_y}{v_x}.$$

### Равномерное движение по окружности

Линейная скорость  $v$  - это скорость, с которой тело движется по окружности. Линейная скорость - векторная величина. Вектор линейной

скорости, оставаясь по модулю постоянным, в каждой точке траектории направлен по касательной окружности.

Угловая скорость  $\omega$  - это отношение угла  $\varphi$  поворота радиуса  $R$ , соединяющего тело с центром окружности, ко времени поворота  $t$ :

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{v}{R}.$$

Период  $T$  - это время одного оборота. Период  $T$  равен отношению всего времени  $t$  к числу оборотов  $N$ , совершаемых за это время:

$$T = \frac{t}{N}.$$

Следует знать, что период секундной стрелки  $T = 1$  мин, период минутной стрелки  $T = 1$  ч и период часовой стрелки  $T = 12$  ч.

Частота вращения  $\nu$  - это число оборотов  $N$ , совершенных за время  $t$ , к этому времени:

$$\nu = \frac{N}{t}; \quad \nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}.$$

Период и частота - обратные величины.

Центростремительное (его еще называют нормальное) ускорение  $a_n$  - это ускорение, характеризующее быстроту изменения направления вектора линейной скорости. Центростремительное ускорение в любой точке траектории направлено по радиусу к центру окружности.

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \omega v.$$

## Тема 2. Динамика. Законы сохранения. Статика

### 1) Законы Ньютона

Инерциальные системы отсчета — это системы отсчета, в которых свободное от внешних воздействий тело сохраняет свою скорость. Системы отсчета, покоящиеся или движущиеся равномерно и прямолинейно относительно других систем отсчета, тоже являются инерциальными.

Неинерциальные системы отсчета — это системы отсчета, движущиеся с ускорением относительно инерциальных систем отсчета. Системы отсчета, движущиеся по окружности, вращающиеся или колеблющиеся, являются неинерциальными.

**Первый закон Ньютона** — в инерциальных системах отсчета свободное тело сохраняет свою скорость. Такое тело движется по инерции. Инерция — это свойство тела сохранять скорость при отсутствии внешнего воздействия.

Масса - это количественная мера инертных и гравитационных свойств тела.

Сила  $F$  — это количественная мера взаимодействия тел, в результате которого они изменяют скорость или деформируются.

### **Второй закон Ньютона**

$$F = ma.$$

Здесь  $F$  — сила (Н),  $m$  - масса (кг),  $a$  - ускорение ( $\text{м/с}^2$ ).

### **Формула силы трения**

$$F = \mu F_{\text{давл.}}$$

Здесь  $F$  – сила трения (Н),  $\mu$  - коэффициент трения (безразмерный),  $F_{\text{давл}}$  - сила давления (Н).

### **Закон Гука**

$$F_{\text{упр}} = -kx.$$

Здесь  $F_{\text{упр}}$  - сила упругости (Н),  $k$ - жесткость (Н/м),  $x$  - деформация (м).

### **Закон всемирного тяготения**

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}.$$

Здесь  $F$  – сила тяготения (Н),  $G=6,67 \cdot 10^{-11}$  Нм<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup> - гравитационная постоянная,  $m_1$  и  $m_2$  - массы материальных точек (кг),  $r$ - расстояние между этими точками (м).

**Вес тела в покое или движущегося по вертикали равномерно и прямолинейно,**

$$P=mg.$$

Здесь  $P$  - вес (Н),  $m$  – масса (кг),  $g$ - ускорение свободного падения (м/с<sup>2</sup>).

**Вес тела, опускающегося с ускорением или поднимающегося с замедлением,**

$$P=m(g-a).$$

Здесь  $P$  — вес (Н),  $m$ - масса (кг),  $g$  – ускорение свободного падения (м/с<sup>2</sup>).

**Вес тела, поднимающегося с ускорением или опускающегося с замедлением,**

$$P=m(g+a).$$

### **Перегрузка при подъеме с ускорением или спуске с замедлением**

$$n = \frac{P}{mg}.$$

Здесь  $n$  - перегрузка (безразмерная),  $P$  - вес (Н),  $m$  - масса (кг),  $g$  – ускорение свободного падения (м/с<sup>2</sup>).

### **Ускорение свободного падения на поверхности планеты**

$$g = \frac{GM}{R^2}.$$

Здесь  $g$  – ускорение свободного падения на поверхности планеты.

### **Ускорение свободного падения на высоте над поверхностью планеты**

$$g = \frac{GM}{(R+H)^2}.$$

Здесь  $H$  — высота над поверхностью планеты.

### **Формула плотности**

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Здесь  $\rho$  - плотность (кг/м<sup>3</sup>),  $m$  – масса (кг),  $V$  – объем (м<sup>3</sup>).

## **2) Законы сохранения. Статика**

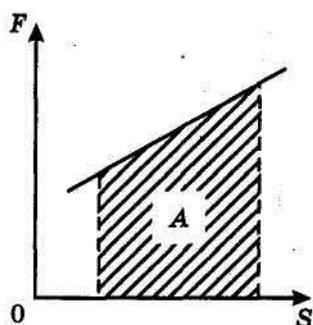
Работа  $A$  — физическая величина, измеряемая произведением модуля силы, действующей на тело, на модуль его перемещения под действием этой силы, на косинус угла между векторами силы и перемещения:

$$A = FS \cos \alpha.$$

Работу при упругой деформации можно найти по формуле:

$$A = \frac{kx^2}{2}.$$

Работа — скалярная величина. Единица работы с СИ — джоуль (Дж). Выразим джоуль через основные единицы СИ:  $\text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$ .



На графике в осях координат F- S (рис. 4) работа силы численно равна площади фигуры, ограниченной графиком, осью перемещения и прямыми, параллельными оси силы.

Если в условии задачи идет речь о коэффициенте полезного действия (КПД) какого-либо механизма, надо подумать, какая работа, совершаемая им, полезная, а какая-затраченная.

Рис.4

Коэффициентом полезного действия (КПД) механизма называют отношение полезной работы, совершенной механизмом, ко всей затраченной при этом работе:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}} \cdot 100\%.$$

Мощность N - это количественная мера быстроты совершения работы. Мощность равна работе, совершаемой за единицу времени:

$$N = \frac{A}{t}; \quad N = Fv \cos \alpha.$$

Мощность — скалярная величина. Единица мощности в СИ — ватт (Вт). Выразим ватт через основные единицы СИ:  $\text{Вт} = \text{Дж} \cdot \text{с}^{-1} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}$ .

Если тело движется равномерно, то в формуле мощности  $N = Fv \cos \alpha$  v - это скорость этого движения. Если же оно движется равноускоренно или равнозамедленно, то в этой формуле это или мгновенная скорость в некоторый момент времени, а если говорится о мощности на всем пути, то v – это средняя скорость.

Импульс тела  $\vec{p}$  - это количественная мера движения тела.

Закон сохранения импульса: в замкнутой системе тел импульс системы сохраняется.

Импульс силы  $F\Delta t$  - это количественная мера изменения импульса тела, на которое подействовала эта сила:  $F\Delta t = \Delta p$ .

Кинетическая энергия E - это энергия, которой обладает тело вследствие своего движения.

Кинетическая энергия определяется по формуле:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Всякое движущееся тело обладает кинетической энергией. Кинетическая энергия — всегда положительная величина. Если под действием силы тело совершило перемещение и вследствие этого его скорость изменилась, то работа силы равна изменению кинетической энергии тела:

$$A = E_{k2} - E_{k1}.$$

Потенциальная энергия  $E_p$  - это энергия, которой обладает тело вследствие того, что находится в силовом поле или вследствие взаимодействия с другими телами. Потенциальной энергией обладает тело, поднятое на высоту и упруго деформированное.

Формула потенциальной энергии тела, поднятого над землей,

$$E_p = mgh,$$

а упруго деформированного:

$$E = \frac{kx^2}{2}.$$

Если под действием силы тело изменило высоту или деформацию, то работа этой силы равна изменению потенциальной энергии тела, взятой со знаком «минус»:

$$A = -\Delta E_p = -(E_{p2} - E_{p1}).$$

Сумма кинетической и потенциальной энергий называется полной механической энергией  $E$ :

$$E = E_k + E_p.$$

В случае, когда система тел, о которых идет речь в задаче, замкнута, т. е. на нее не действуют внешние силы, и не надо определять какие-либо внутренние силы взаимодействия тел, для решения задачи удобно применить закон сохранения механической энергии или общий закон сохранения энергии.

Закон сохранения механической энергии: в замкнутой системе тел, где между телами действуют только силы тяготения (силы тяжести) или силы упругости, полная механическая энергия системы тел сохраняется.

В задачах статики рассматриваются условия равновесия тел. Равновесием тел называют состояние, при котором координаты всех точек не меняются.

Условия равновесия:

а) все силы, приложенные к телу, уравновешены;

б) сумма моментов сил, вращающих тело по часовой стрелке, равна сумме моментов сил, вращающих его против часовой стрелки.

Моментом силы  $M$  называется произведение силы  $F$ , действующей на тело, имеющее ось вращения, и плеча этой силы  $l$ :  $M = Fl$ . Плечом силы  $l$  называется кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы.

## Раздел II. Гидродинамика. Молекулярная физика. Термодинамика

### Тема 3. Гидродинамика

#### Формула давления

$$p = \frac{F_{\text{давл}}}{S}.$$

Здесь  $p$  - давление (Па),  $F_{\text{давл}}$  - сила давления (Н),  $S$  - площадь опоры ( $\text{м}^2$ ).

#### Давление столба жидкости

$$p = \rho gh.$$

Здесь  $p$  - давление (Па),  $\rho$  - плотность жидкости (кг/м<sup>3</sup>),  $g$  - ускорение свободного падения (м/с<sup>2</sup>),  $h$  - высота столба жидкости (м).

**Формула гидравлического прессы**

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}.$$

Здесь  $F_1$  - сила, действующая на меньший поршень (Н),  $S_1$  - площадь меньшего поршня (м<sup>2</sup>),  $F_2$  - сила, действующая на больший поршень (Н),  $S_2$  - площадь большего поршня (м<sup>2</sup>).

**Формула выталкивающей (Архимедовой) силы**

$$F = \rho g V.$$

Здесь  $F$  - выталкивающая сила (Н),  $\rho$  - плотность жидкости (кг/м<sup>3</sup>),  $g$  - ускорение свободного падения (м/с<sup>2</sup>),  $V$  - объем тела, погруженного в жидкость (м<sup>3</sup>).

**Уравнение неразрывности струи (теорема Эйлера)**

$$V_1 S_1 = V_2 S_2.$$

Здесь  $V_1$  - скорость жидкости в сечении площадью  $S_1$  (м<sup>2</sup>),  $V_2$  - скорость жидкости в сечении площадью  $S_2$  (м<sup>2</sup>).

**Уравнение Бернулли**

$$\rho g h_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} + p_1 = \rho g h_2 + \rho \frac{v_2^2}{2} + p_2.$$

Здесь  $\rho$  - плотность жидкости (кг/м<sup>3</sup>),  $g$  — ускорение свободного падения (м/с<sup>2</sup>),  $h_1$  и  $h_2$  - высоты элемента жидкости над землей (м),  $v_1$  и  $v_2$  - скорости на этих высотах (м/с),  $p_1$  и  $p_2$  - давления в жидкости на этих высотах (Па).

$$p_{\text{на стенку}} = \frac{p_{\text{на дно}}}{2}.$$

## Тема 4. Молекулярная физика

**Основные положения молекулярной физики:**

- 1) все вещества состоят из молекул и атомов;
- 2) молекулы и атомы всех веществ находятся в вечном хаотическом движении;
- 3) между молекулами и атомами всех веществ действуют силы притяжения и отталкивания, имеющие электромагнитное происхождение.

Доказательствами молекулярного строения тел служат броуновское движение и диффузия веществ.

Броуновское движение — это движение малых частиц в жидкости под ударами ее молекул.

Диффузия — это проникновение молекул одного вещества между молекулами другого вещества.

Диффузия наблюдается у всех веществ: твердых, жидких и газообразных. Скорость диффузии зависит от состояния вещества, от самого вещества и от температуры.

Молекулярная физика, описывая состояние вещества, оперирует макро- и микропараметрами. К макропараметрам состояния вещества относят его массу,

давление, объем и температуру. К микропараметрам - массу отдельной молекулы, ее скорость, размеры, импульс, энергию.

Относительная молекулярная масса  $M_r$  – это отношение массы молекулы к одной двенадцатой массы атома углерода.

Моль - это количество вещества, в котором содержится столько же молекул, сколько их в 12 г углерода. Единица количества вещества в СИ — моль. Моль — основная единица СИ.

Молярной массой  $M$  называется масса одного моля. Единица молярной массы в СИ – кг/моль.

Число Авогадро  $N_A$  показывает, что в одном моле любого вещества содержится  $6,02 \cdot 10^{23}$  молекул.

Температура — это мера средней кинетической энергии теплового движения молекул.

В международной системе единиц СИ температура измеряется в кельвинах (К). Это основная единица СИ. Температуру, измеренную по шкале Кельвина, называют абсолютной температурой. Шкала Кельвина не имеет отрицательных температур.

Ноль по шкале Кельвина называется абсолютным нулем.

Абсолютный нуль - это температура, при которой прекращается тепловое движение молекул.

Между температурой  $T$ , измеренной по шкале Кельвина, и температурой  $t$ , измеренной по шкале Цельсия, существует связь:  $T=t^{\circ}\text{C}+273$ .

При этом разность температур по шкалам Кельвина и Цельсия одинакова:  $\Delta T = \Delta t^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}=273\text{ K}$ ,  $0\text{ K}=-273^{\circ}\text{C}$ .

Ниже приведены основные формулы молекулярной физики.

**Формула концентрации молекул**  $n = \frac{N}{V}$ .

Здесь  $n$ - концентрация ( $\text{м}^{-3}$ ),  $N$ - количество молекул (безразмерное),  $V$ - объем ( $\text{м}^3$ ).

**Формула относительной молекулярной массы**

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_c}$$

Здесь  $M_r$  - относительная молекулярная масса (безразмерная),  $m_0$  - масса одной молекулы (кг),  $m_c$  - масса атома углерода (кг).

**Формула количества вещества (количества молей)**

$$\nu = \frac{m}{M}$$

Здесь  $\nu$  - количество вещества (количество молей) (моль),  $m$  - масса вещества (кг),  $M$  - молярная масса (кг/моль).

**Формулы массы одной молекулы**

$$m_0 = \frac{m}{N}; \quad m_0 = \frac{M}{N_A}; \quad m_0 = \frac{\rho}{n}$$

Здесь  $m_0$  - масса одной молекулы (кг),  $m$  – масса вещества (кг),  $N$ - количество молекул (безразмерное),  $M$ - молярная масса (кг/моль),  $N = 6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup> - число Авогадро,  $\rho$  - плотность вещества ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ),  $n$  - концентрация молекул ( $\text{м}^{-3}$ ).

### **Формулы количества молекул**

$$N = nV; N = \nu N_A; N = \frac{m}{m_0}.$$

Здесь  $N$  – количество молекул (безразмерное),  $n$  – концентрация молекул ( $\text{м}^{-3}$ ),  $V$ - объем ( $\text{м}^3$ ),  $\nu$  - количество вещества (количество молей) (моль),  $N_A$  - число Авогадро ( $\text{моль}^{-1}$ ),  $m$  - масса вещества (кг),  $m_0$  - масса одной молекулы.

### **Формулы средней квадратичной скорости молекул**

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}; \bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}; k = \frac{R}{N_A}.$$

Здесь  $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К- постоянная Больцмана,  $\bar{v}$  - средняя квадратичная скорость молекул (м/с),  $R=8,31$  Дж/(моль · К)- молярная газовая постоянная,  $T$ - абсолютная температура (К),  $M$ - молярная масса (кг/моль),  $m_0$  - масса одной молекулы (кг).

### **Формула объема моля**

$$V_{\text{моль}} = \frac{M}{\rho}.$$

Здесь  $V_{\text{моль}}$  - объем одного моля ( $\text{м}^3/\text{моль}$ ),  $M$ - молярная масса (кг/моль),  $\rho$  - плотность вещества ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

### **Основное уравнение кинетической теории идеального газа**

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2; p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k.$$

Здесь  $p$  — давление газа (Па),  $m_0$  - масса одной молекулы (кг),  $n$ - концентрация молекул ( $\text{м}^{-3}$ ),  $\bar{v}$  - средняя квадратичная скорость молекул (м/с),  $\bar{E}_k$ - средняя кинетическая энергия молекул (Дж)

### **Формула средней кинетической энергии молекул**

$$\bar{E}_k = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}.$$

Здесь  $\bar{E}_k$  - средняя кинетическая энергия молекул (Дж),  $m_0$  - масса одной молекулы (кг),  $\bar{v}$  - средняя квадратичная скорость молекул (м/с).

Связь средней кинетической энергии молекул идеального газа с абсолютной температурой

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT.$$

Здесь  $\bar{E}_k$  — средняя кинетическая энергия молекул (Дж),  $k$ - постоянная Больцмана (Дж/К),  $T$ - абсолютная температура (К).

**Уравнение состояния идеального газа- уравнение Клапейрона — Менделеева**

$$PV = \frac{m}{M} RT; PV = \nu RT; PV_{\text{моль}} = RT.$$

Здесь  $p$  - давление газа (Па),  $V$  - объем ( $\text{м}^3$ ),  $m$  - масса газа (кг),  $M$ - молярная масса (кг/моль),  $R$  – молярная газовая постоянная (Дж/моль · К),  $T$  — абсолютная температура (К),  $\nu$  - количество вещества (количество молей)(моль),  $V_{\text{моль}}$  - объем моля ( $\text{м}^3/\text{моль}$ ).

**Объединенный газовый закон — уравнение Клапейрона при  $m = \text{const}$**

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$

Здесь  $p_1, V_1, T_1$  - давление (Па), объем ( $\text{м}^3$ ) и абсолютная температура (К) газа в первом состоянии,  $p_2, V_2, T_2$  - давление (Па), объем ( $\text{м}^3$ ) и абсолютная температура (К) газа во втором состоянии.

Связь давления идеального газа с концентрацией его молекул и температурой

$$p = nkT.$$

Здесь  $p$  — давление газа (Па),  $k$  - постоянная Больцмана (Дж/К),  $n$  - концентрация молекул газа ( $\text{м}^{-3}$ ),  $T$  — абсолютная температура, (К).

Процесс, происходящий в газе, при котором один из параметров состояния газа остается неизменным, называется изопроцессом.

Изотермическим называют процесс, протекающий при постоянной температуре.

**Закон Бойля-Мариотта:** при постоянной температуре произведение давления данной массы идеального газа и его объема есть величина постоянная:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

Изобарным называют процесс, протекающий под постоянным давлением.

**Закон Гей-Люссака:** при постоянном давлении объем данной массы идеального газа прямо пропорционален его абсолютной температуре:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Изохорным называют процесс, протекающий при постоянном объеме. Изохорным является процесс нагревания или охлаждения газа, находящегося в закрытом сосуде.

**Закон Шарля:** при постоянном объеме данной массы идеального газа давление прямо пропорционально его абсолютной температуре:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

### **Формулы относительной влажности**

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100\%; \quad \varphi = \frac{p}{p_{\text{нас}}} \cdot 100\%.$$

Здесь  $\varphi$  - относительная влажность (безразмерная или в %),  $\rho$  - плотность водяного пара в воздухе при данной температуре ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ),  $\rho_{\text{нас}}$  - плотность насыщенного водяного пара при той же температуре ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ),  $p$  - давление водяного пара в воздухе при данной температуре (Па),  $p_{\text{нас}}$  - давление насыщенного водяного пара в воздухе при той же температуре (Па).

**Поверхностное натяжение жидкости (коэффициент поверхностного натяжения)**

$$\sigma = \frac{F_{\text{пов.нат}}}{l}; \quad \sigma = \frac{E_{\text{пов.}}}{S}.$$

Здесь  $\sigma$  - поверхностное натяжение жидкости (Н/м),  $F_{\text{пов.нат}}$  - сила поверхностного натяжения (Н),  $l$  - длина периметра, ограничивающего поверхность жидкости (м),  $E_{\text{пов.}}$  - поверхностная энергия (Дж),  $S$  - площадь поверхности ( $\text{м}^2$ ).

### **Высота подъема жидкости в капилляре**

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R}.$$

Здесь  $h$  - высота подъема жидкости в капилляре (м),  $\sigma$  - поверхностное натяжение жидкости (Н/м),  $\rho$  - плотность жидкости (кг/м<sup>3</sup>),  $g$  - ускорение свободного падения (м/с<sup>2</sup>),  $R$  - радиус капилляра (м).

## Тема 5. Термодинамика

Внутренней энергией называется сумма кинетических и потенциальных энергий всех молекул тела.

**Работа при изобарном изменении объема газа**

$$A = p\Delta V; \quad A = p(V_2 - V_1).$$

Здесь  $A$  - работа (Дж),  $p$  - давление газа (Па),  $\Delta V$  - изменение объема газа (м<sup>3</sup>),  $V_1$  и  $V_2$  - соответственно начальный и конечный объемы газа (м<sup>3</sup>).

**Внутренняя энергия идеального одноатомного газа**

$$U = \frac{3mRT}{2M}; \quad U = \frac{3\nu RT}{2}; \quad \Delta U = \frac{3mR\Delta T}{2M} = \frac{3\nu R\Delta T}{2}.$$

**Первый закон термодинамики**

$$Q = \Delta U + A.$$

Здесь  $Q$  - количество теплоты, переданное термодинамической системе (Дж),  $\Delta U$  - изменение внутренней энергии системы (Дж),  $A$  - работа против внешних сил (Дж).

**Коэффициент полезного действия теплового двигателя**

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\%; \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%.$$

Здесь  $\eta$  - коэффициент полезного действия (безразмерный или в %),  $A=Q_1-Q_2$  - работа, совершенная двигателем (Дж),  $Q_1$  - количество теплоты, полученное рабочим веществом от нагревателя (Дж),  $Q_2$  - количество теплоты, отданное рабочим веществом холодильнику (Дж).

Коэффициент полезного действия идеального теплового двигателя

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%.$$

Здесь  $\eta$  - коэффициент полезного действия идеального теплового двигателя (безразмерный или в %),  $T_1$  - абсолютная температура нагревателя (К),  $T_2$  - абсолютная температура холодильника (К).

## Раздел III. Электромагнетизм

### Тема 6. Электростатика

Количественной мерой взаимодействия заряженных тел является электрический заряд  $q$ . Заряд — скалярная величина, т. е. он может быть положительным и отрицательным.

Основные свойства электрических зарядов: двойственность, сохранение, квантование, аддитивность, инвариантность к разным инерциальным системам отсчета.

Единица заряда в СИ — кулон (Кл).

Кратность электрического заряда:  $q=Ne$ .

Поверхностная плотность заряда:  $\sigma = \frac{q}{S}$ .

Закон Кулона

$$F = \frac{kq_1q_2}{\varepsilon r^2} = \frac{q_1q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}.$$

Формула напряженности  $E = \frac{F}{q}$ .

Здесь  $E$  - напряженность электрического (Н/Кл или В/м),  $F$  - сила, действующая на заряд (Н),  $q$ - заряд (Кл).

Напряженность поля точечного заряда

$$E = \frac{kq}{\varepsilon r^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}.$$

Здесь  $E$  — напряженность поля (Н/Кл или В/м),  $k$  - коэффициент пропорциональности (Нм<sup>2</sup>/Кл<sup>2</sup>),  $q$  – модуль заряда (Кл),  $\varepsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость среды (безразмерная),  $\varepsilon_0$  - электрическая постоянная (Ф/м),  $r$  – расстояние от точки с напряженностью  $E$  до заряда  $q$  (м).

Напряженность поля бесконечной равномерно заряженной плоскости

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}.$$

Здесь  $E$  — напряженность электрического поля (В/м),  $\sigma$  - поверхностная плотность зарядов на плоскости (Кл/м<sup>2</sup>),  $\varepsilon_0$  - электрическая постоянная (Ф/м),  $\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость среды (безразмерная).

Напряженность поля двух разноименно и равномерно заряженных плоскостей с одинаковой поверхностной плотностью зарядов (напряженность поля плоского конденсатора)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}.$$

Работа перемещения заряда в однородном электрическом поле:  $A = Eqd$ .

Потенциал электрического поля

$$\varphi = \frac{W_p}{q}.$$

Потенциал поля точечного заряда

$$\varphi = \frac{kq}{\varepsilon r} = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}.$$

Разность потенциалов

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi = U = \frac{A}{q}.$$

Связь напряженности с разностью потенциалов в однородном электрическом поле

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}; \quad E = \frac{U}{d}.$$

Емкость проводника

$$C = \frac{q}{\varphi}.$$

Емкость сферического проводника

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R.$$

Емкость конденсатора

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}.$$

Емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}.$$

Здесь  $C$  — емкость плоского конденсатора ( $\Phi$ ),  $\varepsilon_0$  - электрическая постоянная ( $\Phi/\text{м}$ ),  $\varepsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость среды (безразмерная),  $S$  - площадь обкладок конденсатора ( $\text{м}^2$ ),  $d$  - расстояние между обкладками ( $\text{м}$ ).

Последовательное соединение конденсаторов

Заряд  $q$  – одинаков на всех конденсаторах

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n;$$

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$

Параллельное соединение конденсаторов

$$q_{\text{общ}} = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n;$$

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n.$$

Формулы энергии электрического поля проводника

$$W = \frac{C\varphi^2}{2}; \quad W = \frac{q^2}{2C}; \quad W = \frac{q\varphi}{2}.$$

Формулы энергии электрического поля конденсатора

$$W = \frac{CU^2}{2}; \quad W = \frac{q^2}{2C}; \quad W = \frac{qU}{2}.$$

Формула энергии системы точечных зарядов

$$W = \frac{1}{2} (q_1\varphi_1 + q_2\varphi_2 + \dots + q_n\varphi_n).$$

## Тема 7. Законы постоянного тока

Электрический ток — это упорядоченное (направленное) движение электрических зарядов.

Формулы силы тока

$$I = \frac{q}{t}; \quad I = nevS.$$

Формулы плотности тока

$$j = \frac{I}{S}; \quad j = nev.$$

Формула сопротивления проводника

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Зависимость сопротивления металлического проводника от температуры

$$R = R_0(1 + \alpha t).$$

Закон Ома для однородного участка цепи

$$I = \frac{U}{R}.$$

Закон Ома для неоднородного участка цепи

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon}{R}.$$

Формула ЭДС

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{стор.сил}}}{q}.$$

Закон Ома для всей цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}.$$

В случае соединенных последовательно одинаковых источников тока

$$I = \frac{\varepsilon N}{R + rN}.$$

В случае соединенных параллельно одинаковых источников тока

$$I = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{N}}.$$

Сила тока короткого замыкания при  $R=0$

$$I = \frac{\varepsilon}{r}.$$

Расчет сопротивления шунта к амперметру

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{N-1}.$$

Здесь  $R_{\text{ш}}$  - сопротивление шунта (Ом),  $R_A$  - сопротивление амперметра (Ом),  $N = \frac{I}{I_A}$  - число, показывающее, во сколько раз измеряемая амперметром сила тока  $I$  больше силы тока  $I_A$ , на которую он рассчитан (безразмерное число).

Расчет добавочного сопротивления к вольтметру

$$R_{\text{ш}} = R_B(N - 1).$$

Здесь  $R_{\text{ш}}$  - добавочное сопротивление (Ом),  $R_B$  - сопротивление вольтметра (Ом),  $N = \frac{U}{U_B}$  - число, показывающее, во сколько раз измеряемое напряжение  $U$  больше напряжения  $U_B$ , на которое рассчитан вольтметр (безразмерное число).

Последовательное соединение проводников

Сила тока  $I$  - одинакова во всех проводниках

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n;$$

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n.$$

Параллельное соединение проводников

$U$  – одинаково на всех проводниках

$$I_{\text{общ}} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n;$$

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

Если все проводники имеют одинаковое сопротивление, то

$$R_{\text{общ}} = \frac{R}{N}; \quad I_{\text{общ}} = NI.$$

Работа тока

$$A = UIt; \quad A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU; \quad A = I^2Rt; \quad A = \frac{U^2t}{R}; \quad A = \varepsilon It; \quad A = Pt.$$

Мощность тока

$$P = UI; \quad P = I^2R; \quad P = \frac{U^2}{R}; \quad P = \varepsilon I; \quad P = \frac{A}{t}.$$

Закон Джоуля-Ленца

$$Q = I^2Rt; \quad Q = \frac{U^2t}{R}.$$

Коэффициент полезного действия (КПД) электрической цепи

$$\eta = \frac{U}{\varepsilon} \cdot 100\%; \quad \eta = \frac{R}{R+r} \cdot 100\%.$$

Закон Фарадея для электролиза

$$m = kq; \quad m = kIt; \quad m = \frac{Mit}{Fz}.$$

## Тема 8. Магнетизм

Магнитное поле — это форма материи, окружающей движущиеся электрические заряды. Магнитное поле окружает проводники с током.

Формулы индукции магнитного поля

$$B = \frac{M_{max}}{IS}; \quad B = \frac{F_{max}}{Il}.$$

Формула силы Ампера

$$F = BIl\sin\alpha.$$

Формула момента сил, вращающих контур с током

$$M = BIS\sin\alpha.$$

Формула силы Лоренца, действующей на заряд, движущийся в магнитном поле

$$F = Bqv\sin\alpha.$$

Здесь  $F$  - сила Лоренца, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле (Н),  $B$ - индукция магнитного поля (Тл),  $q$ - заряд (Кл),  $v$  - скорость заряда (м/с),  $\alpha$  - угол между векторами магнитной индукции и скорости (рад).

Формула магнитного потока

$$\Phi = BScos\alpha; \quad \Phi = LI.$$

Здесь  $\Phi$  - магнитный поток сквозь поверхность (Вб)  $S$  – площадь поверхности ( $m^2$ ),  $\alpha$  - угол между нормалью к поверхности и вектором магнитной индукции (рад),  $L$  - индуктивность контура (Гн),  $I$  – сила тока в контуре (А).

Формула ЭДС электромагнитной индукции

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}N; \quad \mathcal{E} = -\Phi'N.$$

Формула ЭДС индукции в проводнике, движущемся поступательно в магнитном поле

$$\mathcal{E} = Bvlsin\alpha; \quad \mathcal{E}_{max} = Bvl.$$

Формула ЭДС индукции в контуре, вращающемся в магнитном поле

$$\mathcal{E}_i = B\omega SNsin\alpha; \quad \mathcal{E}_{max} = B\omega SN.$$

Формула ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_S = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}; \quad \mathcal{E}_S = -LI'.$$

Формула магнитной проницаемости магнетика

$$\mu = \frac{B}{B_0}.$$

Формула энергии магнитного поля

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

Правило Ленца: индукционный ток всегда направлен так, что своим магнитным полем он препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот ток.

**Раздел IV. Колебания и волны. Оптика. Теория относительности.  
Физика атома**

**Тема 9. Колебания и волны**

Колебания — это движения или процессы, повторяющиеся во времени.

Если колебания происходят через равные промежутки времени, они называются периодическими.

**Механические колебания и волны**

Смещение  $x$ - это расстояние от маятника до положения равновесия.

Амплитуда  $A$ - это наибольшее смещение. При гармонических колебаниях амплитуда — постоянная величина.

Период  $T$ - время одного полного колебания -  $T = \frac{t}{N}$ .

Период собственных колебаний пружинного маятника определяет формула  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ , а математического — формула  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ .

Частота - это число полных колебаний в единицу времени:  $\nu = \frac{N}{t}$ .

Частота — величина, обратная периоду:

$$\nu = \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{\nu}.$$

Частоту собственных колебаний пружинного маятника определяет формула  $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$ , а математического маятника — формула  $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$ .

Циклическая частота  $\omega$  – это величина, равная числу полных колебаний, совершенных за время, равное  $2\pi$ :

$$\omega = 2\pi\nu; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Циклическую частоту собственных колебаний пружинного маятника определяет формула  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ , а математического маятника — формула  $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ .

Фаза- это величина под знаком косинуса или синуса в уравнении гармонических колебаний, показывающая, какая доля периода прошла от начала колебания:  $\alpha = \omega t + \alpha_0$ .

Гармонические колебания — это колебания, в которых данный параметр изменяется по закону косинуса или синуса.

Уравнения гармонических колебаний маятника

$$x = A\cos\alpha; \quad x = A\cos(\omega t + \alpha_0); \quad x = A\sin\alpha; \quad x = A\sin(\omega t + \alpha_0).$$

Формулы скорости гармонических колебаний

$$v = x' = -\omega A\sin(\omega t + \alpha_0); \quad v_{max} = \omega A.$$

Формулы ускорения при гармонических колебаниях

$$a = v' = -\omega^2 A\cos(\omega t + \alpha_0); \quad a_{max} = \omega^2 A.$$

Механический резонанс - явление резкого возрастания амплитуды колебаний  $A$ , когда частота вынужденных колебаний становится равной собственной частоте маятника.

Механической волной называют распространение механических колебаний в упругой среде.

Механические волны бывают поперечные и продольные. Поперечной волной называют волну, в которой частицы колеблются перпендикулярно направлению распространения волны, а продольной — в которой частицы колеблются вдоль направления распространения волны.

Расстояние, пройденное волной за один период колебания ее частиц, называется длиной волны:  $\lambda = vT$ ;  $\lambda = \frac{v}{\vartheta}$ .

Скорость волны - это скорость перемещения гребней или впадин в поперечной волне и сгущений или разрежений в продольной.

Подтверждением волнового процесса в среде являются интерференция, дифракция, дисперсия и поляризация волн.

Волны, частицы которых колеблются с постоянной разностью фаз или с одинаковой частотой, называются когерентными.

Интерференция - это наложение волн друг на друга, в результате которого в пространстве возникают усиления волн (максимумы) и их ослабления (минимумы).

$$\text{Максимум интерференции } \Delta r = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda.$$

$$\text{Минимум интерференции } r = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}.$$

Дифракцией волн называется загибание волн в область геометрической тени при прохождении мимо препятствия или сквозь отверстие размером порядка нескольких длин волн.

Продольные волны звуковой частоты называются звуковыми волнами. Частотой, при которой человеческое ухо слышит звук, является частота от 16 Гц до 20 000 Гц. Звук с частотой меньше 16 Гц называется инфразвуком, а звук с частотой выше 20 000 Гц — ультразвуком.

### **Электромагнитные колебания и волны**

Колебательный контур — это цепь, состоящая из конденсатора и катушки индуктивности.

Уравнения электромагнитных колебаний заряда, силы тока, напряжения и ЭДС

$$q = q_m \cos(\omega t + \alpha_0); \quad i = I_m \sin(\omega t + \alpha_0); \quad u = U_m \cos(\omega t + \alpha_0); \\ e = \mathcal{E}_m \sin(\omega t + \alpha_0); \quad \mathcal{E}_m = B\omega S; \quad U_m = \frac{q_m}{C}.$$

Период, циклическая частота и частота свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре (формула Томсона)

$$T = 2\pi\sqrt{LC}; \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad \vartheta = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Формула силы переменного тока

$$i = q'; \quad I_m = \omega q_m.$$

Действующие значения переменного тока

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \quad \mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{2}}.$$

Индуктивное, емкостное и полное сопротивления в цепи переменного тока

$$X_L = \omega L; X_C = \frac{1}{\omega C}; Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

Закон Ома для полной цепи переменного тока

$$I = \frac{U}{Z}; I_m = \frac{U_m}{Z}.$$

Средняя мощность в цепи переменного тока

$$P = UI \cos \varphi.$$

Коэффициент мощности переменного тока

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}.$$

Коэффициент трансформации трансформатора

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}.$$

Формулы длины электромагнитной волны в вакууме (воздухе)

$$\lambda = cT; \lambda = \frac{c}{\nu}.$$

Плотность потока электромагнитного излучения

$$I = \frac{\Delta W}{S \Delta t}.$$

Электрический резонанс — это явление резкого возрастания максимальной силы тока в контуре (амплитуды силы тока), когда частота пополнения контура энергией становится равной собственной частоте колебаний в контуре.

## Тема 10. Оптика

### Геометрическая оптика

Световой луч — это линия, вдоль которой распространяется световая энергия.

Закон отражения:  $\alpha = \beta$ .

Законы преломления

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}; \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Физический смысл абсолютного показателя преломления:  $n = \frac{c}{v}$ .

Физический смысл относительного показателя преломления:  $n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$ .

Связь относительного показателя преломления двух сред с их абсолютными показателями преломления

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Формула предельного угла полного отражения

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}.$$

Формула линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}; \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D.$$

Формула оптической силы линзы:  $D = \frac{1}{F}$ .

Линейное увеличение линзы

$$\Gamma = \frac{H}{h}; \quad \Gamma = \frac{f}{d}.$$

Линейное увеличение лупы

$$\Gamma = \frac{d_0}{F}; \quad d_0 = 25 \text{ см.}$$

Закон прямолинейности световых лучей: свет в однородной и изотропной среде распространяется прямолинейно.

Закон независимости световых лучей: при пересечении световых лучей каждый луч распространяется в прежнем направлении.

### **Волновая и квантовая оптика**

Световые волны — это электромагнитные волны с длиной волны от нескольких десятков микрон у инфракрасного света до сотых долей микрона у ультрафиолетового ( $0,38 \div 0,76$  мкм).

Когда свет распространяется в пространстве, то обнаруживает свои волновые свойства: интерференцию, дифракцию, дисперсию и поляризацию. Когда он взаимодействует с веществом, то обнаруживает свои квантовые свойства — свойства частиц.

Условие максимума на дифракционной решетке:  $d \sin \varphi = k \lambda$ .

Формула Планка

$$E = h \nu; \quad E = \hbar \omega; \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

Формула Эйнштейна для фотоэффекта

$$E = A + E_k; \quad h \nu = A + \frac{mv^2}{2}.$$

Формула для расчета красной границы фотоэффекта

$$A = h \nu_0; \quad A = \frac{hc}{\lambda_0}.$$

Масса и импульс фотона

$$m = \frac{h \nu}{c^2} = \frac{h}{c \lambda}; \quad p = \frac{h \nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

#### **Законы Столетова:**

1-й закон: сила фототока насыщения  $I_{\text{нас}}$  прямо пропорциональна падающему на катод световому потоку  $\Phi$ , т. е. световой энергии, падающей в единицу времени:  $I_{\text{нас}} = k \Phi$ .

2-й закон: кинетическая энергия выбитых светом фотоэлектронов не зависит от падающего на катод светового потока, а зависит только от частоты световой волны.

3-й закон: каждому металлу свойственна частота  $\nu_0$  или длина  $\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$  световой волны, при которой у данного металла наступает фотоэффект.

## Тема 11. Теория относительности. Физика атома

Замедление времени при релятивистских скоростях

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Релятивистское сокращение длины

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

Сложение релятивистских скоростей

$$v = \frac{v_0 + v_1}{1 + \frac{v_0 v_1}{c^2}}.$$

Зависимость массы от скорости

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Связь энергии и массы

$$E = mc^2; E_0 = m_0 c^2; E = E_0 + E_k; \Delta E = \Delta mc^2.$$

Энергия фотона, излученного атомом

$$h\nu = E_n - E_m.$$

Формула массового числа

$$A = Z + N.$$

Формула активности радиоактивного вещества

$$a = \frac{N - N_0}{t}.$$

Закон радиоактивного распада

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$$

Формула дефекта массы

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}.$$

Формула энергии связи, выраженной в джоулях (Дж)

$$E_{\text{св}} = \Delta M c^2; E_{\text{св}} = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2.$$

Формула энергии связи, выраженной в мегаэлектронвольтах

$$E_{\text{св}} = 931 \Delta M.$$

Формула удельной энергии связи

$$\varepsilon_{\text{св}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}.$$

Формула дозы излучения

$$D = \frac{E}{m} \left( \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = \text{Гр (грей)} \right).$$

## Примеры решения задач

### Механика

1. Студент проехал половину пути на велосипеде со скоростью  $v_1=16$  км/ч. Далее половину оставшегося времени он ехал со скоростью  $v_2=12$  км/ч, а затем до конца пути шел пешком со скоростью  $v_3=5$  км/ч. Определите среднюю скорость движения студента на всем пути.

Решение

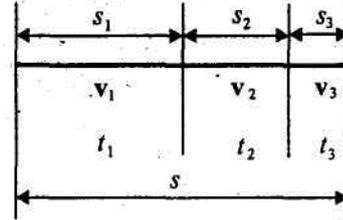
$$s_1 = v_1 t_1, \quad s_2 = v_2 t_2, \quad s_3 = v_3 t_3,$$

$$s_1 = s_2 + s_3, \quad t_2 = t_3,$$

$$\langle v \rangle = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3}, \quad \langle v \rangle = \frac{2s_1}{\frac{s_1}{v_1} + \frac{2s_1}{v_2 + v_3}} = \frac{2v_1(v_2 + v_3)}{2v_1 + v_2 + v_3}.$$

Ответ

$$\langle v \rangle = 11 \text{ км/ч.}$$



2. Тело падает с высоты  $h=1$  км с нулевой начальной скоростью. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите, какой путь пройдет тело: 1) за первую секунду падения; 2) за последнюю секунду падения.

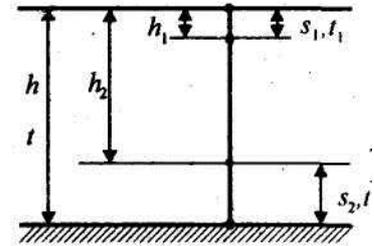
Решение

$$h = \frac{gt^2}{2}, \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad h_1 = \frac{gt_1^2}{2}, \quad s_1 = h_1, \quad s_1 = \frac{gt_1^2}{2},$$

$$h_2 = \frac{g(t-t_2)^2}{2}, \quad s_2 = h - h_2, \quad s_2 = h - \frac{g\left(\sqrt{\frac{2h}{g}} - t_2\right)^2}{2}.$$

Ответ

$$1) s_1 = 4,9 \text{ м; } 2) s_2 = 132 \text{ м.}$$



3. Тело брошено под углом к горизонту. Оказалось, что максимальная высота подъема  $h=s/4$  ( $s$  – дальность полета). Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите угол броска к горизонту.

Решение

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha, \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha,$$

( $t$  – время подъема,  $2t$  – время полета),

$$h = \frac{gt^2}{2}, \quad h = v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}, \quad \frac{gt^2}{2} = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2},$$

$$gt^2 = v_0 t \sin \alpha, \quad t = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}, \quad h = \frac{gt^2}{2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g},$$

$$h = \frac{s}{4} \text{ (по условию),}$$

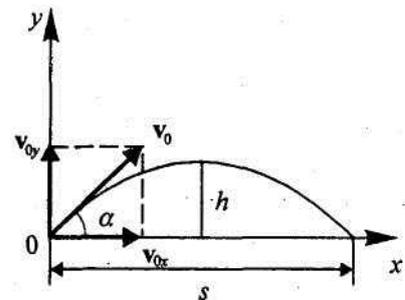
$$s = v_{0x} \cdot 2t = 2v_0 t \cos \alpha = \frac{2v_0^2 \cos \alpha \sin \alpha}{g},$$

$$\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{2v_0^2 \cos \alpha \sin \alpha}{4g}, \quad \sin \alpha = \cos \alpha, \quad \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = 1, \quad \operatorname{tg} \alpha = 1, \quad \alpha = \operatorname{arctg} 1,$$

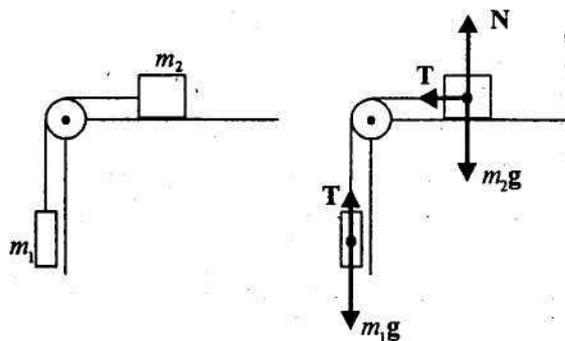
$$\alpha = 45^\circ.$$

Ответ

$$\alpha = 45^\circ.$$



4. Грузы одинаковой массы ( $m_1=m_2=0,5$  кг) соединены и перекинуты через невесомый блок, укрепленный на конце стола. Коэффициент трения груза  $m_2$  о стол  $f=0.15$ . Пренебрегая трением в блоке, определите: 1) ускорение, с которым движутся грузы; 2) силу натяжения нити.



Решение

$$\begin{cases} m_1 a = m_1 g - T, \\ m_2 a = T - f m_2 g; \end{cases} \quad m_1 a + m_2 a = m_1 g - f m_2 g, \quad a = \frac{(m_1 - f m_2) g}{m_1 + m_2},$$

$$T = m_1 (g - a) = m_1 \left( g - \frac{(m_1 - f m_2) g}{m_1 + m_2} \right) = \frac{m_1 m_2 (1 + f) g}{m_1 + m_2}.$$

Ответ

1)  $a = 4,17 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ; 2)  $T = 2,82$  Н.

5. Снаряд массой  $m=5$  кг, вылетевший из орудия, в верхней точке траектории имеет скорость  $v=300$  м/с. В этой точке он разорвался на два осколка, причем больший осколок массой  $m_1=3$  кг полетел в обратном направлении со скоростью  $v_1=100$  м/с. Определите скорость  $v_2$  второго, меньшего, осколка.

Решение

$$mv = m_1 v_1 + m_2 v_2, \quad mv = -m_1 v_1 + m_2 v_2, \quad m_2 = m - m_1,$$

$$v_2 = \frac{mv + m_1 v_1}{m_2}.$$

Ответ

$v_2=900$  м/с.

6. Тело массой  $m=5$  кг поднимают с ускорением  $a=2$  м/с<sup>2</sup>. Определите работу в течение первых пяти секунд.

Решение

$$ma = F - mg, \quad F = ma + mg = m(a + g),$$

$$A = Fh, \quad h = \frac{at^2}{2}, \quad A = m(a + g) \frac{at^2}{2}.$$

Ответ

$A=1,48$  кДж.

7. Тело массой  $m=5$  кг падает с высоты  $h=20$  м. Определите сумму потенциальной и кинетической энергий в точке, находящейся от поверхности Земли на высоте  $h_1=5$  м. Трением тела о воздух пренебречь. Сравните эту энергию с первоначальной энергией тела.

Решение

$$E = \Pi = mgh, \quad E_1 = \Pi_1 + T_1, \quad \Pi_1 = mgh_1,$$

$$T_1 = \frac{mv_1^2}{2}, \quad v_1 = \sqrt{2g(h-h_1)},$$

$$E_1 = mgh_1 + \frac{m2g(h-h_1)}{2} = mgh, \quad E_1 = E = mgh.$$

Ответ

$$E_1 = 981 \text{ Дж.}$$

8. Гиря массой  $m=10$  кг падает с высоты  $h=0,5$  м на подставку, скрепленную с пружиной жесткостью  $k=30$  Н/см. Определите при этом смещение  $x$  пружины.

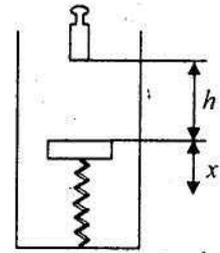
Решение

$$mg(h+x) = \frac{kx^2}{2}, \quad \frac{kx^2}{2} - mgx - mgh = 0,$$

$$x^2 - \frac{2mg}{k}x - \frac{2mgh}{k} = 0, \quad x = \frac{mg}{k} + \sqrt{\left(\frac{mg}{k}\right)^2 + \frac{2mgh}{k}}.$$

Ответ

$$x = 21,6 \text{ см.}$$



9. Планета массой  $M$  движется по окружности вокруг Солнца со скоростью  $v$  (относительно гелиоцентрической системы отсчета). Определите период обращения этой планеты вокруг Солнца.

Решение

$$T = \frac{2\pi R}{v}, \quad \frac{Mv^2}{R} = G \frac{MM_C}{R^2},$$

$$R = \frac{GM_C}{v^2}, \quad T = \frac{2\pi GM_C}{v^3}.$$

Ответ

$$T = \frac{2\pi GM_C}{v^3}.$$

10. Насос мощностью  $N$  используют для откачки нефти с глубины  $h$ . Определите массу жидкости, поднятой за время  $t$ , если КПД насоса равен  $\eta$ .

Решение

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{затр}}} = \frac{mgh}{Nt}, \quad m = \frac{\eta Nt}{gh}.$$

Ответ

$$m = \frac{\eta Nt}{gh}.$$

### Основы молекулярной физики и термодинамики

11. Определите число  $N$  атомов в 1 кг водорода и массу одного атома водорода.

Решение

$$N = \nu N_A = \frac{m}{M} N_A, \quad m_0 = \frac{m}{N}.$$

Ответ

$$N = 3,01 \cdot 10^{26}; \quad m_0 = 3,32 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

12. В закрытом сосуде вместимостью 20 л находятся водород массой 6 г и гелий массой 12 г. Определить : 1) давление; 2) молярную массу газовой смеси в сосуде, если температура смеси  $T=300$  К.

Решение

$$p = p_1 + p_2, \quad p_1 = \frac{m_1 RT}{M_1 V}, \quad p_2 = \frac{m_2 RT}{M_2 V},$$

$$p = \frac{RT}{V} \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right), \quad M = \frac{RT}{Vp} (m_1 + m_2).$$

Ответ

1)  $p=0,75$  МПа; 2)  $M=3 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

13. В сосуде вместимостью 1 л находится кислород массой 1 г. Определите концентрацию молекул кислорода в сосуде.

Решение

$$p = nkT, \quad n = \frac{p}{kT}, \quad pV = \frac{m}{M} RT, \quad \frac{p}{T} = \frac{mR}{MV}, \quad n = \frac{mR}{MkV}.$$

Ответ

$n=1,88 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>.

14. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, 70 % количества теплоты, полученного от нагревателя, отдает холодильнику. Количество теплоты, получаемое от нагревателя, равно 5 кДж. Определите: 1) термический КПД цикла; 2) работу, совершенную при полном цикле.

Решение

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad A = \eta Q_1.$$

Ответ

1)  $\eta=30\%$ ; 2)  $A=1,5$  кДж.

15. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя  $T_1=500$ К, холодильника  $T_2=300$  К. Работа изотермического расширения газа составляет 2 кДж. Определите: 1) термический КПД цикла; 2) количество теплоты, отданное газом при изотермическом сжатии холодильнику.

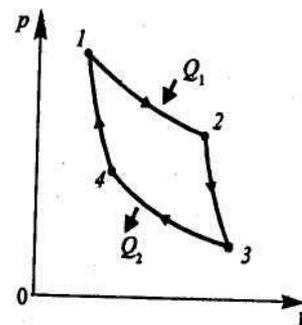
Решение

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}, \quad Q_1 = A_{12},$$

$$Q_2 = Q_1 \frac{T_2}{T_1} = A_{12} \frac{T_2}{T_1}.$$

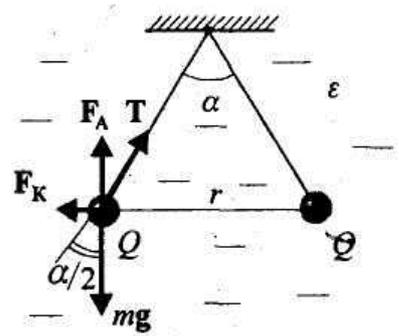
Ответ

1)  $\eta = 40\%$ ; 2)  $Q_2 = 1,2$  кДж.



## Электростатика

16. Два заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускаются в керосин плотностью  $0,8 \text{ г/см}^3$ . Какой должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей  $\alpha$  в воздухе и в керосине был один и тот же? Диэлектрическая проницаемость керосина  $\epsilon=2$ .



Решение

$$F = mg \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, F_k = (mg - F_A) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, F = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

$$F_k = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}, F_A = \rho_k Vg, mg = \rho Vg, \frac{F}{mg} = \frac{F_k}{mg - F_A}, \rho = \frac{\epsilon\rho_k}{\epsilon - 1}.$$

Ответ

$$\rho = 1,6 \text{ г/см}^3.$$

17. В вершинах равностороннего треугольника находятся одинаковые положительные заряды  $Q=2 \text{ нКл}$ . Какой отрицательный заряд  $Q$  необходимо поместить в центр треугольника, чтобы сила притяжения с его стороны уравновесила силы отталкивания положительных зарядов?

Решение

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 = 0, F_1 = F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{r^2},$$

$$F_3 = \frac{QQ_1}{4\pi\epsilon_0 R^2}, \alpha = 30^\circ, \frac{r}{2R} = \cos\alpha,$$

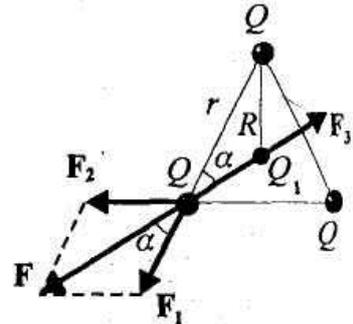
$$F = 2F_1 \cos\alpha = \frac{2Q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos\alpha,$$

$$F_3 = \frac{QQ_1}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{QQ_1}{4\pi\epsilon_0 r^2} 4\cos^2\alpha, \mathbf{F} = -\mathbf{F}_3,$$

$$Q_1 = \frac{Q}{2\cos\alpha}.$$

Ответ

$$Q_1 = 1,15 \text{ нКл}.$$



18. Одинаковые заряды  $Q=100 \text{ нКл}$  расположены в вершинах квадрата со стороной  $a=10 \text{ см}$ . Определите потенциальную энергию этой системы.

Решение

$$W = W_{12} + W_{13} + W_{14} + W_{23} + W_{24} + W_{34},$$

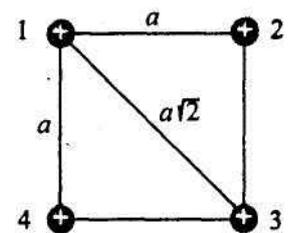
$$W_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{a},$$

$$W_{14} = W_{23} = W_{34} = W_{12}, W_{13} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{a\sqrt{2}},$$

$$W_{24} = W_{13}, W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{4Q^2}{a} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2Q^2}{a\sqrt{2}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{a} (4 + \sqrt{2}).$$

Ответ

$$W = 4,87 \text{ мДж}.$$



19. Определите расстояние между пластинами плоского конденсатора, если между ними приложена разность потенциалов  $U = 150$  В, причем площадь каждой пластины  $S = 100$  см<sup>2</sup>, ее заряд  $Q = 10$  нКл. Диэлектриком служит слюда ( $\varepsilon = 7$ ).

Решение

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}, C = \frac{Q}{U}, \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} = \frac{Q}{U}, d = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S U}{Q}.$$

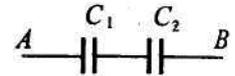
Ответ

$$d = 9,29 \text{ мм.}$$

20. Разность потенциалов между точками А и В  $U = 9$  В. Емкость конденсаторов соответственно равна  $C_1 = 3$  мкФ и  $C_2 = 6$  мкФ. Определите: 1) заряды  $Q_1$  и  $Q_2$ ; 2) разность потенциалов  $U_1$  и  $U_2$  на обкладках каждого конденсатора.

Решение

$$U = U_1 + U_2, Q_1 = Q_2 = Q = \text{const}, C_1 = \frac{Q}{U_1}, C_2 = \frac{Q}{U_2},$$



$$C_1 U_1 = C_2 U_2, U_2 = \frac{C_1}{C_2} U_1, U = U_1 + \frac{C_1}{C_2} U_1,$$

$$U_1 = \frac{U C_2}{C_1 + C_2}, U_2 = U - U_1, Q_1 = Q_2 = C_1 U_1.$$

Ответ

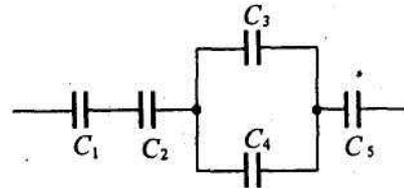
$$U_1 = 6 \text{ В}, U_2 = 3 \text{ В}, Q_1 = Q_2 = 18 \text{ мкКл.}$$

21. Определите емкость  $C$  батареи конденсаторов, изображенной на рисунке. Емкость каждого конденсатора  $C_i = 1$  мкФ.

Решение

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3 + C_4} + \frac{1}{C_5},$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_i.$$



Ответ

$$C = 0,286 \text{ мкФ.}$$

22. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов  $U_1 = 500$  В. Площадь пластин  $S = 200$  см<sup>2</sup>, расстояние между  $d_1 = 1,5$  мм. Пластины раздвинули до расстояния  $d_2 = 15$  мм. Найдите энергию  $W_1$  и  $W_2$  конденсатора до и после раздвижения пластин, если источник напряжения перед раздвижением: 1) отключался; 2) не отключался.

Решение

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1}, C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_2},$$

1)  $Q = \text{const}$

$$C_1 U_1 = C_2 U_2, W_1 = \frac{C_1 U_1^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 S U_1^2}{2 d_1}, W_2 = \frac{C_2 U_2^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 S d_2^2 U_1^2}{2 d_2 d_1^2} = W_1 \frac{d_2}{d_1};$$

2)  $U = \text{const}$

$$Q_1 = C_1 U_1, Q_2 = C_2 U_1,$$

$$W_1 = \frac{C_1 U_1^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 S U_1^2}{2 d_1}, W_2 = \frac{C_2 U_1^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 S U_1^2 d_1}{2 d_2 d_1} = W_1 \frac{d_1}{d_2}.$$

Ответ

- 1)  $W_1=14,8$  мкДж,  $W_2=148$  мкДж;
- 2)  $W_1=14,8$  мкДж,  $W_2=1,48$  мкДж.

### Постоянный электрический ток

23. Определите плотность тока, если за 2 с через проводник сечением  $1,6$  мм<sup>2</sup> прошло  $2 \cdot 10^{19}$  электронов.

Решение

$$j = \frac{I}{S}, I = \frac{Q}{t}, Q = Ne, j = \frac{Ne}{St}.$$

Ответ

$$j=1 \text{ А/мм}^2.$$

24. Определите суммарный импульс электронов в прямом проводе длиной  $l=500$  м, по которому течет ток  $I=20$  А.

Решение

$$p = Nm\langle v \rangle, j = ne\langle v \rangle, n = \frac{N}{V}, j = \frac{I}{S}, V = Sl,$$

$$\frac{I}{S} = \frac{N}{Sl} e\langle v \rangle, \langle v \rangle = \frac{Il}{Ne}, p = Nm\langle v \rangle = \frac{mIl}{e}.$$

Ответ

$$p=5,69 \cdot 10^{-8} \text{ кг}\cdot\text{м/с}.$$

25. Определите общее сопротивление между точкам А и В цепи, представленной на рисунке, если  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 3$  Ом,  $R_3 = R_4 = R_6 = 2$  Ом,  $R_5 = 4$  Ом.

Решение

Рисунок б) – эквивалентная схема

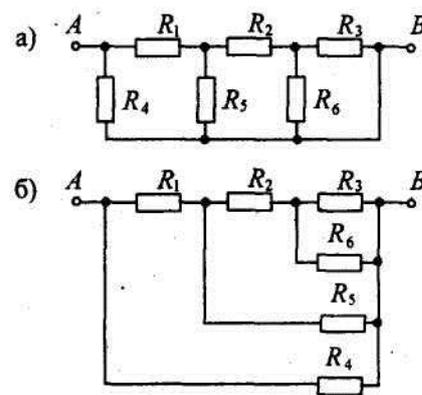
$$R_{36} = \frac{R_3 R_6}{R_3 + R_6}, R_{236} = R_2 + R_{36},$$

$$R_{2365} = \frac{R_{236} R_5}{R_{236} + R_5}, R_{12365} = R_1 + R_{2365},$$

$$R = \frac{R_{12365} R_4}{R_{12365} + R_4}.$$

Ответ

$$R=1,2 \text{ Ом}.$$



26. Два цилиндрических проводника одинаковой длины и одинакового сечения, один из меди, а другой из железа, соединены параллельно. Определить отношение мощностей для этих проводников. Удельные сопротивления меди и железа равны соответственно 17 и 98 нОм·м.

Решение

$$U=\text{const}$$

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}, R_1 = \rho_1 \frac{l}{S}, P_1 = \frac{U^2 S}{\rho_1 l},$$

$$P_2 = \frac{U^2 S}{\rho_2 l}, \frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}.$$

Ответ

$$\frac{P_1}{P_2} = 5,76.$$

27. Определите ток короткого замыкания источника ЭДС, если при внешнем сопротивлении  $R_1=50$  Ом ток в цепи  $I_1=0,2$  А, а при  $R_2=110$  Ом –  $I_2=0,1$  А.

Решение

$$I_{кз} = \frac{\xi}{r}, I_1 = \frac{\xi}{R_1+r}, I_2 = \frac{\xi}{R_2+r}, I_1(R_1+r) = I_2(R_2+r),$$

$$r = \frac{I_2 R_2 - I_1 R_1}{I_1 - I_2}, I_{кз} r = I_1 (R_1 + r),$$

$$I_{кз} = I_1 \left( \frac{R_1}{r} + 1 \right) = I_1 \left( \frac{R_1(I_1 - I_2)}{I_2 R_2 - I_1 R_1} + 1 \right).$$

Ответ

$$I_{кз} = 1,2 \text{ А.}$$

## Магнетизм

28. В однородное магнитное поле с индукцией  $B=0,1$  Тл помещена квадратная рамка площадью  $S=25$  см<sup>2</sup>. Нормаль к плоскости рамки составляет с направлением магнитного поля угол  $60^\circ$ . Определите вращающий момент, действующий на рамку, если по ней течет ток  $I=1$  А.

Решение

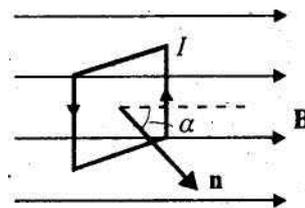
$$\mathbf{M} = [\mathbf{p}_m, \mathbf{B}],$$

$$M = p_m B \sin \alpha, p_m = IS,$$

$$M = ISB \sin \alpha.$$

Ответ

$$M = 217 \text{ мкН}\cdot\text{м.}$$



29. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,2$  Тл находится прямой проводник длиной  $l=15$  см, по которому течет  $I=5$  А. На проводник действует сила  $F=0,13$  Н. Определите угол  $\alpha$  между направлениями тока и вектором магнитной индукции.

Решение

$$\mathbf{F} = I[\mathbf{l}, \mathbf{B}], F = IlB \sin \alpha, \sin \alpha = \frac{F}{IlB}, \alpha = \arcsin \frac{F}{IlB}.$$

Ответ

$$\alpha = 60^\circ.$$

30. Электрон, ускоренный разностью потенциалов  $U=0,5$  кВ, движется параллельно прямолинейному длинному проводнику на расстоянии  $r=1$  см от него. Определите силу, действующую на электрон, если через проводник пропускать ток  $I=10$  А.

Решение

$$eU = \frac{mv^2}{2}, v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}, B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}, F = evB = \frac{\mu_0 e I \sqrt{eU}}{\pi r \sqrt{2m}}.$$

Ответ

$$F=4,24 \cdot 10^{-16} \text{ Н.}$$

31. Протон, ускоренный разностью потенциалов  $U=0,5$  кВ, влетая в однородное магнитное поле с магнитной индукцией  $B=2$  мТл, движется по окружности. Определите радиус этой окружности.

Решение

$$QU = \frac{mv^2}{2}, v = \sqrt{\frac{2QU}{m}}, QvB = \frac{mv^2}{R}, R = \frac{mv}{QB} = \frac{\sqrt{2mQU}}{QB}.$$

Ответ

$$R=1,61 \text{ м.}$$

32. Определите, при какой скорости пучок заряженных частиц, двигаясь перпендикулярно скрещенным под прямым углом однородным электрическому ( $E=100$  кВ/м) и магнитному ( $B=50$  мТл) полям, не отклоняется.

Решение

$$F_e = QE, F_{\text{Л}} = Q[\mathbf{v}, \mathbf{B}], F_e = F_{\text{Л}}, QE = QvB, v = \frac{E}{B}.$$

Ответ

$$v=2 \text{ Мм/с.}$$

33. Циклотроны позволяют ускорять до энергий 20 МэВ. Определите радиус дуантов циклотрона, если магнитная индукция  $B=2$  Тл.

Решение

$$T = \frac{mv^2}{2}, v = \sqrt{\frac{2T}{m}}, evB = \frac{mv^2}{R}, R = \frac{mv^2}{evB} = \frac{\sqrt{2Tm}}{eB}.$$

Ответ

$$R \geq 32,3 \text{ см.}$$

34. В однородное магнитное с индукцией  $B=0,3$  Тл помещена прямоугольная рамка с подвижной стороной, длина которой  $l=15$  см. Определите ЭДС индукции, возникающей в рамке, если ее подвижная сторона перемещается перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью  $v=10$  м/с.

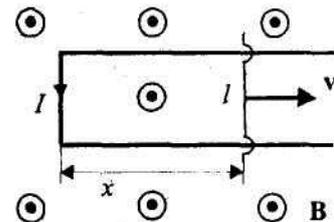
Решение

$$\xi_i = -\frac{d\Phi}{dt}, \Phi = BS = Blx,$$

$$\xi_i = -\frac{d}{dt}(Blx) = -Bl\frac{dx}{dt} = -Blv, |\xi_i| = Blv.$$

Ответ

$$\xi_i=0,45 \text{ В.}$$



35. Длинный соленоид индуктивностью  $L=4$  мГн содержит  $N=600$  витков. Площадь поперечного сечения соленоида  $S=20$  см<sup>2</sup>. Определите магнитную индукцию поля внутри соленоида, если сила тока, протекающего по его обмотке, равна 6А.

Решение

$$\Phi = LI, \quad \Phi = NBS, \quad B = \frac{\Phi}{NS} = \frac{LI}{NS}.$$

Ответ

$$B=0,02 \text{ Тл.}$$

36. В соленоиде без сердечника, содержащем  $N=1000$  витков, при увеличении силы тока магнитный поток увеличился на  $1\text{мВб}$ . Определите среднюю ЭДС самоиндукции  $\langle \xi_s \rangle$ , возникающую в соленоиде, если изменение силы тока произошло за  $1\text{с}$ .

Решение

$$\langle \xi_s \rangle = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Ответ

$$\langle \xi_s \rangle = 1 \text{ В.}$$

37. Трансформатор с коэффициентом трансформации  $0,15$  понижает напряжение с  $220 \text{ В}$  до  $6 \text{ В}$ . При этом сила тока во вторичной обмотке равна  $6 \text{ А}$ . Пренебрегая потерями энергии в первичной обмотке, определите сопротивление вторичной обмотки трансформатора.

Решение

$$\xi_1 = U_1, \quad \frac{\xi_2}{\xi_1} = \frac{N_2}{N_1}, \quad \xi_2 = \frac{N_2}{N_1} U_1, \quad \xi_2 = I_2 R_2 + U_2,$$

$$R_2 = \frac{\xi_2 - U_2}{I_2}, \quad R_2 = \frac{N_2 U_1 / N_1 - U_2}{I_2}.$$

Ответ

$$R_2=4,5 \text{ Ом.}$$

38. Обмотка электромагнита, находясь под постоянным напряжением, имеет сопротивление  $R=15 \text{ Ом}$  и индуктивность  $L=0,3 \text{ Гн}$ . Определите время, за которое в обмотке выделится количество теплоты, равное энергии магнитного поля в сердечнике.

Решение

$$Q = W, \quad Q = I^2 R t, \quad U = \text{const}, \quad W = \frac{LI^2}{2}, \quad \frac{LI^2}{2} = I^2 R t, \quad t = \frac{L}{2R}.$$

Ответ

$$t=0,01 \text{ с.}$$

## Колебания и волны

### Механические и электромагнитные колебания

39. Гармонические колебания величины  $s$  описываются уравнением  $s = 0,02 \cos(6\pi t + \frac{\pi}{3})$ , м. Определите: 1) амплитуду колебаний; 2) циклическую частоту; 3) частоту колебаний; 4) период колебаний.

Решение

$$s = A \cos(\omega_0 t + \varphi), A = 0,02 \text{ м}, \omega_0 = 6\pi \text{ с}^{-1},$$
$$v = \frac{\omega_0}{2\pi} = 3 \text{ Гц}, T = \frac{1}{v} = 0,33 \text{ с}.$$

Ответ

1)  $A=0,02 \text{ м}$ ; 2)  $\omega_0 = 6\pi \text{ с}^{-1}$ , 3)  $v=3 \text{ Гц}$ ; 4)  $T=0,33 \text{ с}$ .

40. Материальная точка массой  $m=20 \text{ г}$  совершает гармонические колебания по закону  $x = 0,1 \cos(4\pi t + \frac{\pi}{4})$ , м. Определите полную энергию  $E$  этой точки.

Решение

$$E = T + \Pi, T = \frac{mv^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi),$$
$$\Pi = \frac{kx^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi), E = \frac{mA^2\omega_0^2}{2}.$$

Ответ

$E=15,8 \text{ мДж}$ .

41. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 1 \text{ мГн}$  и конденсатора емкостью  $C = 2 \text{ нФ}$ . Пренебрегая сопротивлением контура, определите, на какую длину волны этот контур настроен.

Решение

$$\lambda = cT, T = 2\pi\sqrt{LC}, \lambda = 2\pi c\sqrt{LC}.$$

Ответ

$\lambda = 2,67 \text{ м}$ .

42. Конденсатор емкостью  $C$  зарядили до напряжения  $U_m$  и замкнули на катушку индуктивностью  $L$ . Пренебрегая сопротивлением контура, определите амплитудное значение силы тока в данном колебательном контуре.

Решение

$$Q = Q_m \cos(\omega_0 t + \varphi), \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, Q_m = CU_m,$$

$$I = -\omega_0 Q_m \sin(\omega_0 t + \varphi), I_m = \omega_0 Q_m = \frac{1}{\sqrt{LC}} CU_m = U_m \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Ответ

$$I_m = U_m \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

### Интерференция света

43. Определите длину отрезка  $l_1$ , на котором укладывается столько же длин волн монохроматического света в вакууме, сколько их укладывается на отрезке  $l_2=5 \text{ мм}$  в стекле. Показатель преломления стекла  $n=1,5$ .

Решение

$$v = \lambda\nu, v = \frac{c}{n}, \frac{l_1}{\lambda_1} = \frac{l_2}{\lambda_2}, l_1 = l_2 \frac{\lambda_1}{\lambda_2}, l_1 = l_2 \frac{n_2}{n_1}.$$

Ответ

$$l_1 = 7,5 \text{ мм.}$$

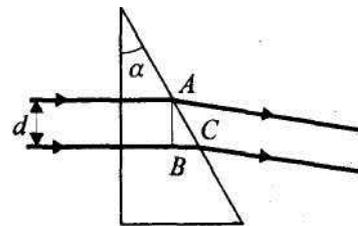
44. Два параллельных световых пучка, отстоящих друг от друга на расстоянии  $d=5$  см, падают на кварцевую призму ( $n=1,49$ ) с преломляющим углом  $\alpha = 25^\circ$ . Определите оптическую разность хода  $\Delta$  этих пучков на выходе их из призмы.

Решение

$$\Delta = (l_2 - l_1)n = BCn, \quad BC = dtg\alpha, \quad \Delta = ndtg\alpha.$$

Ответ

$$\Delta = 3,47 \text{ см.}$$



45. На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Его направление на четвертую темную дифракционную полосу составляет  $2^\circ 12'$ . Определите, сколько длин волн укладывается на ширине щели.

Решение

$$a \sin \varphi = \pm m \lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots), \quad \frac{a}{\lambda} = \frac{m}{\sin \varphi}.$$

Вычисления

$$\varphi = 2^\circ 12' = 2,2^\circ, \quad \frac{a}{\lambda} = \frac{4}{\sin 2,2^\circ} = 104.$$

Ответ

$$\frac{a}{\lambda} = 104.$$

46. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda=600$  нм. Определите наибольший порядок спектра, полученный с помощью этой решетки, если ее постоянная  $d=2$  мкм.

Решение

$$d \sin \varphi = m \lambda, \quad d \sin \varphi_{max} = m_{max} \lambda, \quad \sin \varphi_{max} = 1, \quad m_{max} = \frac{d}{\lambda}.$$

Ответ

$$m_{max} = 3.$$

47. Определите работу выхода  $A$  электронов из вольфрама, если «красная граница» фотоэффекта для него  $\lambda_0=275$  нм.

Решение

$$A = h\nu_0, \quad \nu_0 = \frac{c}{\lambda}, \quad A = \frac{hc}{\lambda_0}.$$

Ответ

$$A = 4,52 \text{ эВ.}$$

48. Определите, до какого потенциала зарядится уединенный серебряный шарик при облучении его ультрафиолетовым светом длиной волны  $\lambda=208$  нм. Работа выхода электронов из серебра  $A=4,7$  эВ.

Решение

$$h\nu = A + e\varphi, \quad \nu = \frac{c}{\lambda}, \quad \frac{hc}{\lambda} = A + e\varphi, \quad \varphi = \frac{hc}{\lambda e} - \frac{A}{e}.$$

Ответ

$$\varphi = 1,28 \text{ В.}$$

49. Определите, на сколько изменилась энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны  $\lambda = 4,86 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ .

Решение

$$\Delta E = E_n - E_m = h\nu, \quad \nu = \frac{c}{\lambda}, \quad \Delta E = \frac{hc}{\lambda}.$$

Ответ

$$\Delta E = 2,56 \text{ эВ.}$$

50. Электрон выбит из атома водорода, находящегося в основном состоянии, фотоном, энергия которого  $\varepsilon = 17,7 \text{ ЭВ}$ . Определите скорость электрона за пределами атома.

Решение

$$\varepsilon = E_i + \frac{mv^2}{2}, \quad E_i = 13,6 \text{ эВ} = 21,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$$

$$v = \sqrt{\frac{2(\varepsilon - E_i)}{m}}.$$

Ответ

$$v = 1,2 \text{ Мм/с.}$$

51. Определите, какую часть массы нейтрального атома  $^{12}_6\text{C}$  ( $m = 19,9272 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ) составляет масса его электронной оболочки.

Решение

$$Z = 6, \quad \frac{Zm_e}{m} = \frac{6 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}{19,9272 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} = 2,74 \cdot 10^{-4}.$$

Ответ

$$\frac{Zm_e}{m} = 2,74 \cdot 10^{-4}.$$

52. Определите энергию связи ядра атома гелия  $^4_2\text{He}$ . Масса нейтрального атома гелия равна  $6,6467 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ .

Решение

$$E_{\text{св}} = [Zm_H + (A - Z)m_n - m]c^2, \quad Z = 2, \quad A = 4, \quad A - Z = 2.$$

Ответ

$$E_{\text{св}} = 28,4 \text{ МэВ.}$$

53. Определите, во сколько раз начальное количество ядер радиоактивного изотопа уменьшится за три года, если за один год оно уменьшилось в 4 раза.

Решение

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad N_1 = N_0 e^{-\lambda t_1}, \quad N_2 = N_0 e^{-\lambda t_2}, \quad \frac{N_0}{N_1} = e^{\lambda t_1}, \quad \lambda = \frac{\ln 4}{t_1},$$

$$\frac{N_0}{N_2} = e^{\lambda t_2} = e^{\frac{\ln 4 t_2}{t_1}} = e^{3 \ln 4}.$$

Ответ

$$\frac{N_0}{N_2} = 64.$$

54. Постоянная радиоактивного распада изотопа  ${}^{210}_{82}\text{Pb}$  равна  $10^{-9} \text{ с}^{-1}$ . Определите время, в течение которого распадется  $2/5$  начального количества ядер этого радиоактивного изотопа.

Решение

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad \frac{\Delta N}{N_0} = \frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t} = \frac{2}{5},$$

$$-\lambda t = \ln \frac{3}{5}, \quad t = \frac{\ln \frac{5}{3}}{\lambda}.$$

Ответ

$$t = 16,2 \text{ год.}$$

55. Определите период полураспада  $T_{1/2}$  некоторого радиоактивного изотопа, если его активность за 5 суток уменьшилась в 2,2 раза.

Решение

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}, \quad A = A_0 e^{-\lambda t}, \quad \lambda = \frac{1}{t} \ln \frac{A_0}{A}, \quad T_{1/2} = t \frac{\ln 2}{\ln 2,2}.$$

Ответ

$$T_{1/2} = 4,4 \text{ сут.}$$

## Варианты контрольных работ

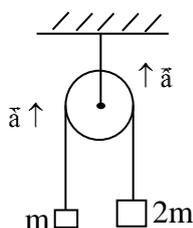
### Контрольная работа № 1 Кинематика. Динамика

#### Вариант 1

1. Половину времени при переезде из одного пункта в другой автомобиль проехал с постоянной скоростью 60 км/ч. С какой постоянной скоростью он должен двигаться оставшееся время, если средняя скорость движения равна 65 км/ч?

2. С балкона, расположенного на высоте 25 м над поверхностью Земли, бросили вертикально вверх мячик со скоростью 20 м/с. Найти, через сколько времени мячик упадет на землю.

3. Найти угловую скорость и частоту вращения барабана лебедки диаметром 16 см при подъеме груза со скоростью 0,4 м/с. Каково угловое ускорение барабана, если он остановится через 6 с, после начала торможения?



4. Через невесомый блок перекинута веревка с грузами  $m$  и  $2m$ . Блок движется с ускорением ( $v$ ). Пренебрегая трением, найти давление блока на ось.

5. Из ружья массой 5 кг вылетает пуля массой 5 г со скоростью 600 м/с. Найти скорость отдачи и кинетическую энергию пули.

6. Камера шлюза имеют длину 30 м, ширину 300 м и высоту 8 м. Для наполнения камеры воду подают по двум галереям квадратного сечения со сторонами по 4,5 м со средней скоростью 2,5 м/с. Сколько времени требуется для заполнения камеры водой?

#### Вариант 2

1. Первую половину пути до места назначения автомобиль проехал с постоянной скоростью 50 км/ч, а вторую половину с постоянной скоростью 60 км/ч. Определить среднюю скорость автомобиля.

2. Тело, брошенное вертикально вниз с начальной скоростью 19,6 м/с, за последнюю секунду прошло  $\frac{1}{4}$  часть всего пути. Определить время падения тела

и его конечную скорость. С какой высоты брошено тело?

3. Через какое время вектор скорости тела, брошенного под углом  $60^\circ$  к горизонту с начальной скоростью 20 м/с, будет составлять с горизонтом угол  $30^\circ$ ? Сопротивлением пренебречь.

4. За какое время тело массой  $m$  соскользнет с наклонной плоскости ( $\ell$ ), расположенной под углом  $\beta$ , если по наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha$  оно движется вниз равномерно?

5. Поезд массой 500 т движется со скоростью 30 км/ч. Коэффициент трения равен 0,02. Определить мощность, развиваемую локомотивом поезда.

6. С судна массой 750 т произведен выстрел из пушки в сторону, противоположную его движению, под углом  $60^\circ$  к горизонту. На сколько изменилась ско-

рость судна, если снаряд массой 30 кг вылетел со скоростью 1 км/с относительно судна?

### Вариант 3

1. Катер проходит расстояние между двумя пунктами на реке вниз по течению за 8 часов, обратно за 12 часов. За какое время катер прошел бы то же расстояние в стоячей воде?
2. Два автомобиля вышли с остановки один после другого и шли с ускорением  $0,4 \text{ м/с}^2$ . Через 2 минуты после выхода первого автомобиля расстояние между ними стало равным 1,9 км. С каким промежутком времени вышли автомобили?
3. С вершины горы брошено тело в горизонтальном направлении со скоростью 19,6 м/с. Определить тангенциальное и нормальное ускорение тела спустя 2 с после начала движения.
4. С вершины наклонной плоскости высотой 10 м и углом наклона  $30^\circ$  под действием горизонтальной силы 10 Н соскальзывает тело массой 2 кг. Определить скорость тела в конце спуска. Коэффициент трения  $\mu = 0,1$ .
5. Спутник массой 12 т обращается по круговой орбите вокруг Земли, обладая кинетической энергией 0,4 ГДж. С какой скоростью и на какой высоте обращается спутник?
6. Небольшое тело массой  $m$  соскальзывает с верхней точки гладкого закрепленного шара радиусом  $R$ . На какой высоте тело отделится от шара?

### Вариант 4

1. Мотоциклист за первые два часа проехал 90 км, а следующие три часа двигался со скоростью 50 км/ч. Какова средняя скорость на всем пути?
2. По наклонной доске пустили снизу вверх шарик. На расстоянии 30 см от начала пути шарик побывал дважды: через 1 с и через 2 с после начала движения. Определить начальную скорость и ускорение движения шарика, считая его постоянным.
3. Пуля пущена с начальной скоростью 200 м/с под углом  $60^\circ$  к горизонту. Определить максимальную высоту подъёма, дальность полета и радиус кривизны, траектории пули в ее наивысшей точке. Сопротивлением пренебречь.
4. Шарик массой 0,2 кг, привязанный к закрепленной одним концом нити длины 3 м, описывает в горизонтальной плоскости окружность радиуса 1 м. Найти 1) число оборотов шарика в минуту; 2) натяжение нити.
5. Пуля массой 10 г, летящая со скоростью 400 м/с, пробив доску толщиной 5 см, уменьшила скорость вдвое. Определить силу сопротивления доски движению пули.
6. Налетев на пружинный буфер, вагон массой 16 т, двигавшийся со скоростью 0,6 м/с, остановился, сжав пружину на 8 см. Найти общую жесткость пружин буфера.

### Вариант 5

1. Скорость поезда между двумя пунктами 80 км/ч, средняя скорость на всём пути 60 км/ч, причём остановки занимают время 1 час. Найти расстояние между этими пунктами.
2. За какое время скорость автомобиля при равноускоренном движении увеличилось с 12 до 60 км/ч, если автомобиль прошел при этом расстояние 80,0 м? С каким ускорением он двигался?
3. С какой скоростью двигалась повозка при киносъемке, если при демонстрации кинофильма на экране задние колёса, имеющие 12 спиц, кажутся неврашающимися? Диаметр колес 1 м. Киносъемка производилась со скоростью 24 кадра в секунду.
4. На тело массой 10 кг, лежащее на наклонной плоскости, которая образует с горизонтом угол  $30^\circ$ , действует сила 1500 Н, направленная вверх, под углом  $30^\circ$  к наклонной плоскости. Определить силу трения тела о плоскость. Коэффициент трения  $\mu = 0,1$ . Найти ускорение тела.
5. Кувалда массой 20 кг поднята на высоту 1,2 м и свободно падает на наковальню. Какова средняя сила удара кувалды о наковальню, если удар неупругий, а продолжительность удара 0,005 с?
6. Пуля попадает в ящик с песком и застревает в нём. На сколько сожмется пружина жесткостью (k), удерживающая ящик, если пуля имеет массу (m) и движется со скоростью  $v$ , а масса ящика с песком равна M?

### Вариант 6

1. Самолет летит из пункта А со скоростью 500 км/ч относительно воздуха в пункт В, расположенный к северу от пункта А на расстоянии 1000 км. На всём пути дует северо-западный ветер со скоростью 100 км/ч. Через какое время после вылета самолёт прибудет к пункту назначения, если будет лететь по прямой?
2. За какое время свободно падающее тело проходит десятый метр пути? Какова скорость в этот момент?
3. Определить угловое ускорение маховика, частота вращения которого за время 20 полных оборотов возросли равномерно от 1 до 5 об/с.
4. Космический корабль имеет массу 3,5 т. При маневрировании из его двигателей вырывается струя газов со скоростью 800 м/с. Расход горючего 0,2 кг/с. Найти реактивную силу двигателей и ускорение, которое она сообщает кораблю.
5. Человек прыгает в воду с высоты 10 м. На какую глубину он бы при этом погрузился, если бы можно было пренебречь силами сопротивления воздуха и воды? Масса человека 60 кг, объём 66 л.
6. Поезд массой 3000 т движется на подъём, равный 0,004, со скоростью 16 м/с при коэффициенте сопротивления 0,006. Какова полезная мощность локомотива?

### Вариант 7

1. Координаты материальной точки изменяются со временем по закону  $x = 4t$ ,  $y = 3t$ . Найти зависимость пройденного точкой пути от времени, отсчитывая расстояние от начального ее положения. Какой путь пройдет точка за 5 с?
2. На Луне ускорение свободного падения примерно в 6 раз меньше, чем на Земле. Сравнить времена падения и конечные скорости тел при падении с одной и той же высоты.
3. Сколько оборотов сделали колеса автомобиля после включения тормоза до полной остановки, если в момент начала торможения автомобиль имеет скорость 60 км/ч, и остановился за 3 с после начала торможения. Диаметр колес 70 см.
4. Ракета массой 1 т, запущенная с поверхности Земли вертикально вверх, поднимается с ускорением 2 g. Скорость струи газов, вырывающихся из сопла равна 1200 м/с. Найти расход горючего.
5. Чему равен коэффициент полезного действия наклонной плоскости длиной 3 м и высотой 1,8 м, если коэффициент трения  $\mu = 0,1$ ?
6. Из бесконечности на поверхность Земли падает метеорит массой 30 кг. Определить работу, которая при этом будет совершена силами гравитационного поля Земли. Радиус Земли равен 6400 км.

### Вариант 8

1. Первую четверть пути мотоциклист проехал со скоростью 10 м/с, вторую со скоростью 15 м/с, третью со скоростью 20 м/с и последнюю со скоростью 5 м/с. Определить среднюю скорость мотоциклиста на всём пути.
2. Сколько времени падало тело, если за последнюю секунду оно прошло такое же расстояние, какое прошло за все предыдущее время падения?
3. Точка движется по кривой с постоянным тангенциальным ускорением  $a_{\tau} = 0,5 \text{ м/с}^2$ . Определить полное ускорение точки на участке кривой с радиусом кривизны 3 м, если точка движется на этом участке со скоростью 2 м/с.
4. Шайба, пущенная по поверхности льда с начальной скоростью 20 м/с, остановилась через 20 с. Найти коэффициент трения шайбы о лёд.
5. При подъёме груза массой 2 кг на высоту 1 м сила F совершает работу 78,5 Дж. С каким ускорением поднимается груз?
6. Спутник обращается вокруг Земли по круговой орбите на высоте 520 км. Определить период обращения спутника. Радиус Земли принять равным 6400 км, ускорение  $g_0 = 9,81 \text{ м/с}^2$  – свободного падения на поверхности Земли.

### Вариант 9

1. Найти среднюю скорость движения автомобиля, если известно, что  $\frac{1}{4}$  часть времени он двигался со скоростью 16 м/с, а все остальное время со скоростью 8 м/с.

2. Мотоциклист, имея начальную скорость  $10 \text{ м/с}$ , стал двигаться с ускорением  $1 \text{ м/с}^2$ . За какое время он пройдет путь в  $192 \text{ м}$  и какую скорость приобретет в конце этого пути?
3. Точка движется по окружности радиусом  $4 \text{ м}$ . Начальная скорость точки равна  $3 \text{ м/с}$ , тангенциальное ускорение  $1 \text{ м/с}^2$ . Для момента времени  $2 \text{ с}$  определить длину пути, пройденного точкой.
4. Тело скользит по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол  $45^\circ$ . Пройдя путь  $36,4 \text{ см}$ , тело приобретает скорость  $2 \text{ м/с}$ . Найти коэффициент трения тела о плоскость.
5. Период обращения искусственного спутника Земли равен  $2 \text{ ч}$ . Считая орбиту спутника круговой, найти, на какой высоте ( $h$ ) над поверхностью Земли движется спутник.  $R_3 = 6400 \text{ км}$ .
6. Шар массой  $2 \text{ кг}$  сталкивается с покоящимся шаром большей массы и при этом теряет  $40 \%$  кинетической энергии. Определить массу большего шара. Удар считать абсолютно упругим, прямым.

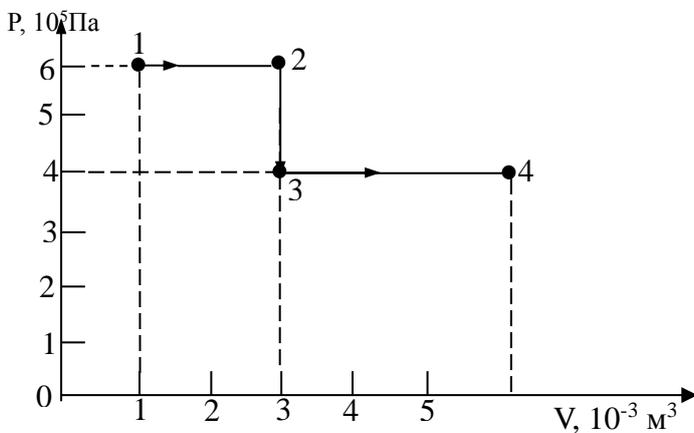
### Вариант 10

1. Пассажир электропоезда, движущегося со скоростью  $15 \text{ м/с}$ , заметил, что встречный поезд длиной  $210 \text{ м}$  прошел мимо него за  $6 \text{ с}$ . Определить скорость встречного поезда.
2. Расстояние между двумя свободно падающими каплями через  $2 \text{ с}$  после начала падения второй капли было  $25 \text{ м}$ . На сколько позднее первой начала падать вторая капля?
3. По дуге окружности радиусом  $10 \text{ м}$  движется точка. В некоторый момент времени нормальное ускорение точки  $a_n = 4,9 \text{ м/с}^2$ ; в этот момент векторы полного и нормального ускорений образуют угол  $60^\circ$ . Найти скорость  $v$  и тангенциальное ускорение  $a_t$  точки.
4. Невесомый блок укреплен в вершине наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол  $30^\circ$ . Гири массой  $m_1 = m_2 = 1 \text{ кг}$  соединены нитью и перекинуты через блок. Найти ускорение, с которым движутся гири. Коэффициент трения гири с плоскостью равен  $0,1$ .
5. Шарик массой  $300 \text{ г}$  ударился о стену и отскочил от нее. Определить импульс, полученный стеной, если в последний момент перед ударом шарик имел скорость  $10 \text{ м/с}$ , направленную под углом  $30^\circ$  к поверхности стены. Удар считать абсолютно упругим.
6. Каково ускорение свободного падения на поверхности Солнца, если радиус Солнца в  $108$  раз больше радиуса Земли, а плотность Земли в  $4$  раза больше плотности Солнца?

## Контрольная работа № 2 Термодинамика

### Вариант 1

1. Для повышения температуры газа массой 20 кг и молярной массой 0,028 кг/моль на 50 К при постоянном давлении необходимо затратить количество теплоты, равное 0,5 МДж. Какое количество теплоты следует отнять от этого газа при постоянном объеме, чтобы его температура понизилась на 50 К?



2. В сосуд, содержащий 10 кг льда при  $0^{\circ}\text{C}$ , влили 3 кг воды при  $90^{\circ}\text{C}$ . Какая установится температура? Расплавится ли весь лед? Если нет, то какая часть его останется в твердом состоянии? Теплоемкость сосуда не учитывать.

3. Реактивный самолет ИЛ-62 имеет четыре двигателя, развивающих силу тяги  $10,3 \cdot 10^4$  Н каждый. Сколько керосина израсходуют двигатели на перелет 5000 км, если их КПД 24%?

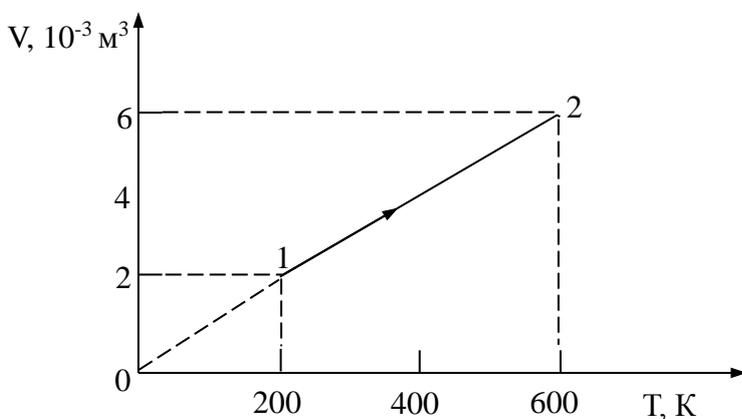
4. Идеальный газ переводят из состояния 1 в состояние 4 так, как показано на графике. Вычислите работу, совершаемую газом.

### Вариант 2

1. Какая совершается работа при изобарном нагревании азота массой 1 кг на 1 К?

2. В сосуд, содержащий 1,5 кг воды при  $15^{\circ}\text{C}$ , впускают 200 г водяного пара при  $100^{\circ}\text{C}$ . Какая общая температура установится после конденсации пара?

3. Автомобиль массой 1200 кг на горизонтальном участке пути развивает скорость 72 км/ч, расходуя при этом 8 кг бензина на 100 км пути. Какую скорость разовьет автомобиль при тех же условиях на участке пути с подъемом 3,5 м на 100 м? КПД двигателя 28%. Удельная теплота сгорания бензина  $45 \cdot 10^6$  Дж/кг.



4. Используя график зависимости объема азота от температуры, вычислите значение работы, совершаемой газом массой 300 г при переходе из состояния 1 в состояние 2.

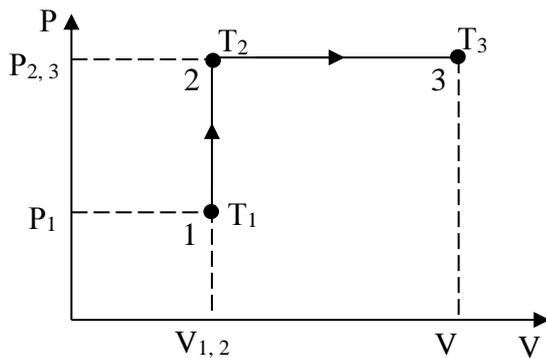
ты, совершаемой газом массой 300 г при переходе из состояния 1 в состояние 2.

### Вариант 3

1. Давление азота, находящегося в сосуде объемом 3 л, после нагревания возросло на 2,2 МПа. Определите количество теплоты, сообщенной газу. Удельная теплоемкость азота при постоянном объеме 745 кДж/(кг·К), его молярная масса 0,028 кг/моль.

2. В алюминиевый калориметр массой 300 г опустили кусок льда. Температура калориметра и льда  $-15^{\circ}\text{C}$ . Затем пропустили через калориметр водяной пар при  $100^{\circ}\text{C}$ . После того как температура смеси оказалась равной  $25^{\circ}\text{C}$ , измерили массу смеси, она оказалась равной 500 г. Найти массу сконденсировавшегося пара и массу льда, находившегося в калориметре в начале опыта.

3. Определите мощность двигателя автомобиля, если расход бензина составляет 38 л на 100 км пути при средней скорости движения 35 км/ч. КПД двигателя 22,5%.

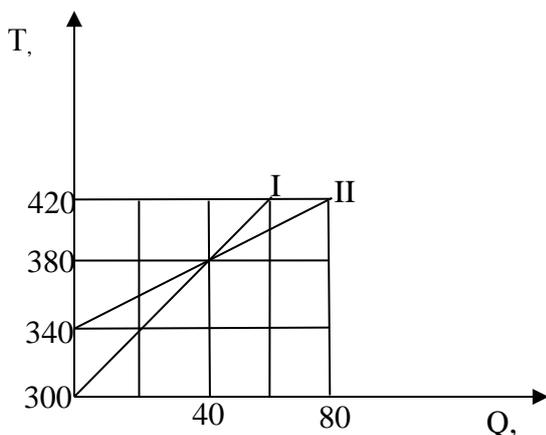


4. Газ занимал объем  $V_1 = 0,01\text{ м}^3$  и находился под давлением  $p_1 = 0,1\text{ МПа}$  при температуре  $T_1 = 300\text{ К}$ . Затем газ был нагрет без изменения объема до температуры  $T_2 = 320\text{ К}$ , а после этого нагрет при постоянном давлении до температуры  $T_3 = 350\text{ К}$  (рис.). Найдите работу, которую совершил газ, переходя из первоначального состояния (1) в конечное (3).

### Вариант 4

1. Кислород, взятый в количестве 1 моль, нагревается при постоянном объеме от температуры  $0^{\circ}\text{C}$ . Какое количество теплоты требуется сообщить кислороду, чтобы его давление увеличилось в 3 раза? Удельная теплоемкость кислорода при постоянном объеме 657 кДж/(кг·К).

2. Смесь из свинцовых и алюминиевых опилок с общей массой 150 г и температурой  $100^{\circ}\text{C}$  погружена в калориметр с водой, температура которой  $15^{\circ}\text{C}$ , а масса 230 г. Окончательная температура установилась  $20^{\circ}\text{C}$ . Теплоемкость калориметра 42 Дж/К. Сколько свинца и алюминия было в смеси?



3. Какую среднюю мощность развивает двигатель мотоцикла ИЖ-«Юпитер-3», если при скорости движения 108 км/ч расход бензина составляет 3,7 л на 100 км пути, а КПД двигателя 25%?

4. На рисунке изображены графики изменения температуры двух тел в зависимости от подводимого количества теплоты. Какова начальная и конечная температура каждого тела? Каковы их

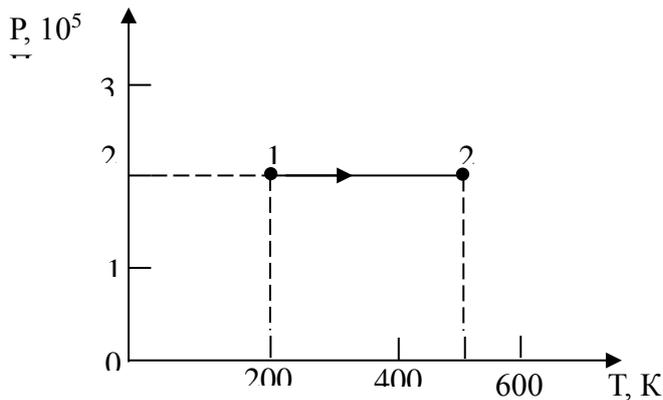
удельные теплоемкости, если масса каждого из них равна 2 кг?

### Вариант 5

1. В вертикальном цилиндре под тяжелым поршнем находится кислород массой 2 кг. Для повышения температуры кислорода на 5 К ему было сообщено количество теплоты, равное 9160 Дж. Найдите работу, совершаемую при расширении кислорода и увеличении его внутренней энергии. Молярная масса кислорода 0,032 кг/моль.

2. В калориметр с теплоемкостью 63 Дж/К было налито 250 г масла при 12° С. После опускания в масло медного тела массой 500 г при 100° С установилась общая температура 33° С. Какова удельная теплоемкость масла по данным опыта?

3. С какой наименьшей скоростью должна лететь свинцовая дробинка, чтобы при ударе о препятствие она расплавилась? Считать, что 80% кинетической



энергии превратилось во внутреннюю энергию дробинки, а температура дробинки до удара была 127° С.

4. Используя график зависимости давления от температуры (рис.), определите работу, совершаемую кислородом, масса которого 3,2 кг, при переходе из состояния 1 состояние 2.

### Вариант 6

1. В вертикально расположенном цилиндре с площадью основания 1 дм<sup>2</sup> под поршнем массой 10 кг, скользящим без трения, находится воздух. При изобарном нагревании воздуха поршень поднялся на 20 см. Какую работу совершил воздух, если наружное давление равно 100 кПа?

2. Алюминиевый чайник массой 400 г, в котором находится 2 кг воды при 100 С, помещают на газовую горелку с КПД 40%. Какова мощность горелки, если через 10 мин вода закипела, причем 20 г воды выкипело?

3. Междугородный автобус прошел путь 80 км за 1 час. Двигатель при этом развивал среднюю мощность 70 кВт при КПД, равном 25%. Сколько дизельного топлива, плотность которого 800 кг/м<sup>3</sup>, сэкономил водитель в рейсе, если норма расхода горючего 40 л на 100 км пути?

4. При обработке детали слесарь совершил 46 движений стальным напильником, прикладывая среднюю силу 40 Н и перемещая напильник на 8 см при каждом движении. На сколько повысилась температура напильника, если он имеет массу 100 г и на увеличение его внутренней энергии пошло 50% совершенной работы?

### Вариант 7

1. Температура воздуха в комнате объемом  $70 \text{ м}^3$  была  $280 \text{ К}$ . После того как протопили печь, температура поднялась до  $296 \text{ К}$ . Найти работу воздуха при расширении, если давление постоянно и равно  $100 \text{ кПа}$ .
2. В стальной сосуд массой  $300 \text{ г}$  налили  $1,5 \text{ л}$  воды при  $17^\circ \text{ С}$ . В воду опустили кусок мокрого снега массой  $200 \text{ г}$ . Когда снег растаял, установилась температура  $7^\circ \text{ С}$ . Сколько воды было в комке снега?
3. При выстреле снаряда (пули) массой  $m$  вылетает из ствола со скоростью  $v$ . Сколько процентов от энергии, освобожденной при сгорании порохового заряда массой  $M$ , составляет кинетическая энергия снаряда (пули)?  
Сделать расчеты для пушечного снаряда при  $m = 6,2 \text{ кг}$ ,  $v = 680 \text{ м/с}$ ,  $M = 1 \text{ кг}$  и для пули автомата при  $m = 8 \text{ г}$ ,  $v = 700 \text{ м/с}$ ,  $M = 1,6 \text{ г}$ .
4. В сосуде с теплонепроницаемыми стенками объемом  $5,6 \text{ л}$  находится кислород при температуре  $66^\circ \text{ С}$  и давлении  $0,25 \text{ МПа}$ . Для нагревания газа до температуры  $68^\circ \text{ С}$  требуется сообщить газу теплоту  $21 \text{ Дж}$ . Какова удельная теплоемкость кислорода при этих условиях?

### Вариант 8

1. Газ находится под поршнем цилиндра при  $0^\circ \text{ С}$  давлении  $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Какую работу совершит газ объемом  $5 \text{ л}$  при изобарном расширении, если температура газа повысится до  $20^\circ \text{ С}$ ?
2. Колбу с  $600 \text{ г}$  воды при  $10^\circ \text{ С}$  нагревают на спиртовке с КПД  $35\%$ . Через сколько времени вода закипит? Сколько воды ежесекундно обращается в пар при кипении, если в  $1 \text{ мин}$  сгорает  $2 \text{ г}$  спирта? Теплоемкость колбы  $100 \text{ Дж/К}$ .
3. В топке котла паровой турбины расходуется  $0,35 \text{ кг}$  дизельного топлива на  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  энергии. Температура поступающего в турбину пара  $250^\circ \text{ С}$ , температура холодильника  $30^\circ \text{ С}$ . Вычислить фактический КПД турбины и сравнить его с КПД идеальной тепловой машины, работающей при тех же температурных условиях.
4. Какая часть количества теплоты, сообщенной одноатомному газу в изобарном процессе, идет на увеличение внутренней энергии и какая часть – на совершение работы?

### Вариант 9

1. Для изобарного нагревания газа, количество вещества которого  $800 \text{ моль}$ , на  $500 \text{ К}$  ему сообщили количество теплоты  $9,4 \text{ МДж}$ . Определить работу газа и приращение его внутренней энергии.
2. В холодильнике из воды при температуре  $10^\circ \text{ С}$  за  $4 \text{ ч}$  получили  $300 \text{ г}$  льда при температуре  $-3^\circ \text{ С}$ . Какое количество теплоты отдали вода и лед? Какую часть это количество теплоты составляет от количества электроэнергии, потребленной холодильником из сети, если мощность холодильника  $70 \text{ Вт}$ ?
3. В идеальной тепловой машине за счет каждого килоджоуля энергии, получаемой от нагревателя, совершается работа  $300 \text{ Дж}$ . Определить КПД машины и температуру нагревателя, если температура холодильника  $280 \text{ К}$ .

4. С высоты  $h$  свободно падает кусок металла, удельная теплоемкость которого  $c$ . На сколько поднялась его температура при ударе о землю, если считать, что  $k\%$  механической энергии куска металла превращается во внутреннюю энергию?

### Вариант 10

1. Какую работу совершит идеальный газ в количестве  $2 \cdot 10^3$  моль при его изобарном нагревании на  $5^\circ \text{C}$ ? Какую работу совершит водород массой 300 г при изобарном повышении его температуры с  $15$  до  $45^\circ \text{C}$ ?

2. После опускания в воду, имеющую температуру  $10^\circ \text{C}$ , тела, нагретого до  $100^\circ \text{C}$ , через некоторое время установилась общая температура  $40^\circ \text{C}$ . Какой станет температура воды, если, не вынимая первого тела, в нее опустить еще одно такое же тело, нагретое до  $100^\circ \text{C}$ ?

3. Автомобиль массой 4,6 т трогается с места на подъеме, равном  $0,025$ , и, двигаясь равноускоренно, за 40 с проходит 200 м. Найти расход бензина (в литрах) на это участке, если коэффициент сопротивления  $0,02$  и КПД равен  $20\%$ .

4. Два свинцовых шара одинаковой массы движутся со скоростями  $v$  и  $2v$  навстречу друг другу. Определить повышение температуры  $\Delta t$  шаров в результате неупругого удара.

**Контрольная работа № 3**  
**Электростатика. Постоянный ток. Электромагнетизм**

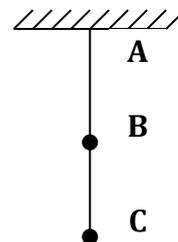
**Вариант 1**

1. Во сколько раз надо изменить расстояние между двумя зарядами, чтобы при погружении их в керосин ( $\epsilon = 2,1$ ) сила взаимодействия между ними была такая же, как и в воздухе?
2. Положительно заряженный шарик  $m = 0,18$  г и плотностью  $\rho = 1800$  кг/м<sup>3</sup> находится во взвешенном состоянии в жидком диэлектрике плотностью 900 кг/м<sup>3</sup>. В диэлектрике имеется однородное поле с напряженностью 45 кВ/м, направленное вверх. Найти заряд шарика.
3. Разность потенциалов между параллельными пластинами  $\Delta\phi = 90$  В. Площадь каждой пластины  $S = 60$  см<sup>2</sup>, заряд на них  $q = 1$  нКл. На каком расстоянии друг от друга находятся пластины?
4. К пластинам плоского конденсатора, одна из которых заземлена, приложено напряжение  $U = 100$  В. В воздушный зазор между пластинами шириной  $d = 4$  см вдвинули тонкую металлическую пластину на 3 см от заземленной пластины. Определить потенциал внутренней пластины.
5. К источнику тока с ЭДС 1,5 В присоединили катушку с сопротивлением  $R = 0,1$  Ом. Амперметр показал силу тока, равную  $I_1 = 0,5$  А. Когда к источнику тока присоединили последовательно еще один источник тока с такой же ЭДС, то сила тока  $I_2$  в той же катушке оказалась равной 0,4 А. Определить внутренние сопротивления  $r_1$  и  $r_2$  первого и второго источников тока.
6. На электроплитке мощностью  $P = 600$  Вт, имеющей КПД  $\eta = 45\%$ , нагрелось  $V = 1,5$  л воды, взятой при температуре  $t = 10^\circ\text{C}$ , до кипения, и  $\alpha = 5\%$  ее обратилось в пар. Сколько времени  $\tau$  длился этот процесс? Теплоемкость воды  $c = 4200$  Дж/(кг · К), удельная теплота парообразования воды  $r = 2,3$  МДж/кг.
7. Две электролитические ванны соединены последовательно. В первой ванне выделилось  $m_1 = 3,9$  г цинка, во второй за то же время  $m_2 = 2,24$  г железа. Цинк двухвалентен. Определить валентность железа.
8. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов  $U = 600$  В, влетел в однородное магнитное поле, индукция которого  $B = 0,3$  Тл, и начал двигаться по окружности. Определить её радиус  $R$ .
9. Квадратный контур со стороной  $a = 10$  см, в котором течет ток силой  $I = 6$  А, находится в магнитном поле с индукцией  $B = 0,8$  Тл под углом  $\alpha = 60^\circ$  к линиям индукции. Какую работу  $A$  нужно совершить, чтобы при неизменной силе тока в контуре изменить его форму на окружность?
10. Круговой контур радиусом  $r = 2$  см помещен в однородное магнитное поле, индукция  $B$  которого 0,2 Тл. Плоскость контура перпендикулярна направлению силовых линий магнитного поля. Сопротивление контура  $R = 1$  Ом. Какое количество электричества  $q$  протечет через катушку при повороте ее на  $90^\circ$ ?
11. Квадратная рамка из медной проволоки сечением  $S_1 = 1$  мм<sup>2</sup> помещена в магнитное поле, индукция которого меняется по закону  $B = B_0 \sin \omega t$ , где  $B_0 = 0,01$  Тл. Частота изменения магнитного поля  $\nu = 50$  Гц. Площадь рамки  $S_2 = 25$

см<sup>2</sup>. Плоскость рамки перпендикулярна к направлению магнитного поля. Найти зависимость и максимальное значение: 1) магнитного потока  $\Phi$ , пронизывающего рамку; 2) ЭДС индукции, возникающей в рамке; 3) силы тока  $I$ , текущего по рамке. Удельное сопротивление меди 17 нОм/м.

## Вариант 2

1. Одинаковые шарики массой  $m = 1$  г подвешены на нити так, как на рисунке.  $|BC| = 3$  см. Найти силу натяжения нити на участке АВ и ВС, если шарикам сообщили заряды по 10 нКл. Заряды одноименные.



2. В вершинах квадрата со стороной  $a = 10$  см расположены три положительных заряда и один отрицательный величиной по  $5 \cdot 10^{-7}$  Кл. Определить напряженность поля в центре квадрата, если заряды находятся в воздухе.

3. В однородном поле напряженностью 1 кВ/м переместили заряд  $-25$  нКл в направлении силовой линии на 2 см. Найти работу поля, изменение потенциальной энергии и разность потенциалов между начальной и конечной точками перемещения.

4. Два последовательно соединенных конденсатора емкостью  $C_1 = 2$  мкФ и  $C_2 = 4$  мкФ присоединили к источнику постоянного напряжения в 120 В. Определить напряжение на каждом конденсаторе и заряды.

5. В сеть с напряжением  $U = 100$  В подключили катушку с сопротивлением  $R_1 = 2$  кОм и вольтметр, соединенные последовательно. Показания вольтметра  $U_1 = 80$  В. Когда катушку заменили другой, вольтметр показал  $U_2 = 60$  В. Определить сопротивление  $R_2$  другой катушки.

6. ЭДС батареи равна 20 В. Сопротивление  $R$  внешней цепи равно 2 Ом, сила тока  $I = 4$  А. Определить КПД  $\eta$  батареи. При каком значении внешнего сопротивления  $R_1$  КПД  $\eta$  будет равен 99 %?

7. Две электролитические ванны с растворами  $AgNO_3$  и  $CuSO_4$  соединены последовательно. Сколько меди  $m_2$  выделится за время, в течение которого выделилось  $m_1 = 180$  мг серебра?

8. Заряженная частица, прошедшая ускоряющую разность потенциалов  $U = 2$  кВ, движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 15,1$  мТл по окружности радиусом  $R = 1$  см. Определить отношение  $q/m$  заряда частицы к ее массе и скорость  $v$  частицы.

9. Плоский контур, по которому течет ток силой  $I = 5$  А, свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,4$  Тл. Площадь контура  $S = 200$  см<sup>2</sup>. Поддерживая ток в контуре неизменным, его повернули относительно оси, лежащей в плоскости контура, на угол  $\alpha = 45^\circ$ . Определить совершенную при этом работу  $A$ .

10. Проволочное кольцо радиусом  $r = 10$  см лежит на столе. Какое количество электричества  $q$  протечет по кольцу, если его повернуть с одной стороны на

другую? Сопротивление  $R$  кольца равно 1 Ом. Вертикальная составляющая индукции  $B$  магнитного поля Земли равна 50 мкТл.

**11.** Магнитный поток  $\Phi$  в соленоиде, содержащем  $N = 1000$  витков, равен 0,2 Вб. Определить энергию  $W$  магнитного поля соленоида, если сила тока, протекающего по виткам соленоида,  $I = 1$  А. Сердечник сделан из немагнитного материала. Магнитное поле во всем объеме соленоида считать однородным.

### Вариант 3

**1.** Два одинаковых металлических шарика заряжены так, что заряды одного из них в 5 раз больше заряда другого. Шарики привели в соприкосновение и развели на прежнее расстояние. Во сколько раз изменилась сила взаимодействия, если шарики были заряжены одноименно? разноименно?

**2.** К вертикальной бесконечной заряженной плоскости прикреплена нить с одноименно заряженным шариком. Нить имеет длину  $l = 1$  м, заряд шарика  $q = 10$  нКл, а масса  $m = 1$  мг. Чему равна поверхностная плотность заряда на плоскости, если шарик находится от плоскости на расстоянии 0,6 м?

**3.** Два точечных заряда  $q_1 = 20$  нКл и  $q_2 = 40$  нКл находятся на расстоянии  $r_1 = 40$  см. Какую надо совершить работу, чтобы сблизить их до расстояния 25 см?

**4.** Два одинаковых плоских конденсатора соединены параллельно и заряжены до разности потенциалов 150 В. Определить разность потенциалов на конденсаторах, если после отключения их от источника тока у одного конденсатора уменьшили расстояние между пластинами в два раза.

**5.** При внешнем сопротивлении  $R_1 = 8$  Ом сила тока в цепи  $I_1 = 0,8$  А, а при сопротивлении  $R_2 = 15$  Ом сила тока  $I_2 = 0,5$  А. Определить силу тока  $I_{к.з.}$  короткого замыкания источника ЭДС.

**6.** Источник с ЭДС  $E = 1,5$  В дает во внешнюю цепь ток силой  $I = 1$  А. Внутреннее сопротивление источника тока  $r = 0,2$  Ом. Определить КПД  $\eta$  источника тока.

**7.** При получении алюминия электролизом раствора  $Al_2O_3$  в расплавленном криолите проходил ток  $I = 20$  кА при разности потенциалов на электродах  $U = 5$  кВ. Определить время  $t$ , в течение которого будет выделено  $m = 1$  т алюминия. Сколько электрической энергии при этом будет затрачено?

**8.** Два иона, имеющих одинаковый заряд, но различные массы, влетели в однородное магнитное поле. Первый ион начал двигаться по окружности радиусом  $R_1 = 5$  см, а второй ион – по окружности радиусом  $R_2 = 2,5$  см. Определить отношение  $m_1/m_2$  масс ионов, если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов.

**9.** В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции расположен плоский контур площадью  $S = 100$  см<sup>2</sup>. Поддерживая в контуре постоянную силу тока  $I = 50$  А, его переместили из магнитного поля в область пространства, где поле отсутствует. Определить индукцию  $B$  магнитного поля, если при перемещении контура была совершена работа  $A = 0,4$  Дж.

**10.** Между полюсами электромагнита помещена катушка, соединенная с баллистическим гальванометром. Ось катушки параллельна линиям магнитной ин-

дукции. Катушка сопротивлением  $R_1 = 4$  Ом имеет  $N = 15$  витков площадью  $S = 2$  см<sup>2</sup>. Сопротивление  $R_2$  гальванометра равно 46 Ом. Когда ток в обмотке электромагнита выключили, по цепи гальванометра протекло количество электричества  $q = 90$  мкКл. Определить магнитную индукцию  $B$  поля электромагнита.

11. Определить индуктивность  $L$  катушки, в которой при равномерном увеличении силы тока на  $\Delta I = 2$  А энергия магнитного поля увеличивается на  $\Delta W = 10$  мДж. Средняя сила тока  $\langle I_L \rangle$  в цепи равна 5 А.

#### Вариант 4

1. Во сколько раз сила гравитационного притяжения между протонами больше силы электрического отталкивания, если  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг,  $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$  м<sup>3</sup>/(кг·с<sup>2</sup>)?

2. Бесконечная равномерно заряженная плоскость имеет поверхностную плотность зарядов  $\sigma = 9$  мкКл/м<sup>2</sup>. Над ней находится алюминиевый шарик ( $\rho = 2700$  кг/м<sup>3</sup>) и несет заряд  $q = 368$  нКл. Какой объем должен иметь шарик, чтобы он не падал?

3. Между двумя пластинами, расположенными горизонтально на расстоянии 4,8 мм друг от друга, находится в равновесии отрицательно заряженная капелька масла массой 10 мг. Сколько электронов на капельке, если разность потенциалов между пластинами 1 кВ?

4. Обкладки конденсатора с неизвестной емкостью  $C_1$ , заряженного до  $U_1 = 80$  В, соединяют с обкладками конденсатора емкостью  $C_2 = 60$  мкФ, заряженного до  $U_2 = 16$  В. Определить емкость  $C_1$ , если напряжение на конденсаторах после их соединения  $U = 20$  В. Конденсаторы соединяются обкладками, имеющими одноименные заряды.

5. Определить внутреннее сопротивление  $r$  аккумулятора, если известно, что при замыкании его на внешнее сопротивление  $R_1 = 14$  Ом напряжение на зажимах аккумулятора  $U_1 = 28$  В, а при замыкании на сопротивление  $R_2 = 29$  Ом напряжение на зажимах  $U_2 = 29$  В. Сопротивлением подводящих проводов пренебречь.

6. ЭДС батареи  $E = 12$  В. При силе тока  $I = 4$  А КПД батареи  $\eta = 0,6$ . Определить внутреннее сопротивление  $r$  батареи.

7. Какое количество электрической энергии  $W$  надо израсходовать, чтобы при электролизе раствора  $AgNO_3$  выделилось  $m = 500$  мг серебра? Разность потенциалов на электродах  $U = 4$  кВ.

8. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 9$  мТл по винтовой линии, радиус  $R$  которой равен 1 см и шаг  $h = 7,8$  см. Определить период  $T$  обращения электрона и его скорость  $v$ .

9. По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной длиной  $a = 10$  см, течет ток  $I = 20$  А, сила которого поддерживается неизменной. Плоскость квадрата составляет угол  $\alpha = 20^\circ$  с линиями индукции однородного магнитного поля, индукция которого  $B = 0,1$  Тл. Определить работу  $A$ , которую необходимо совершить для того, чтобы удалить провод за пределы поля.

**10.** Тонкий медный провод массой  $m = 1$  г согнут в виде квадрата, и его концы замкнуты. Квадрат помещен в однородное магнитное поле с индукцией  $B = 0,1$  Тл так, что плоскость его перпендикулярна линиям индукции поля. Определить количество электричества  $q$ , которое протечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию. Плотность меди  $8900$  кг/м<sup>3</sup>.

**11.** Рамка площадью  $S=200$  см<sup>2</sup> равномерно вращается с частотой  $n=10$  с<sup>-1</sup> относительно оси, лежащей в плоскости рамки перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля ( $B=0,2$  Тл). Каково среднее значение ЭДС индукции за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку, изменится от нуля до максимального значения?

### Вариант 5

**1.** На кольце радиусом  $R$  сосредоточен отрицательный заряд  $q_1$ . С двух сторон на расстоянии  $R$  от центра на оси кольца расположены два положительных заряда  $q_2$ . Найти отношение  $q_2/q_1$ , если система находится в равновесии.

**2.** Между зарядами  $+q$  и  $-9q$  расстояние равно  $8$  см. На каком расстоянии на прямой, соединяющей заряды, от первого заряда находится точка, в которой напряженность равна нулю?

**3.** Два бесконечно длинных параллельных провода, расположенных в вакууме, заряжены равномерно с линейной плотностью заряды  $\tau = 5 \cdot 10^{-8}$  Кл/м. Расстояние между проводами  $R = 0,5$  м. Определить силу, действующую на единицу длины провода.

**4.** Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C = 2$  мкФ зарядами до разности потенциалов  $U = 100$  В. Определить работу по раздвижению пластин, если расстояние между ними увеличится в  $3$  раза. После зарядки источник отключили.

**5.** Определить внутреннее сопротивление  $r$  аккумулятора, если известно, что при замыкании его на внешнее сопротивление  $R_1 = 14$  Ом напряжение на зажимах аккумулятора  $U_1 = 28$  В, а при замыкании на сопротивление  $R_2 = 29$  Ом напряжение на зажимах  $U_2 = 29$  В. Сопротивлением подводящих проводов пренебречь.

**6.** ЭДС батареи  $E = 12$  В. При силе тока  $I = 4$  А КПД батареи  $\eta = 0,6$ . Определить внутреннее сопротивление  $r$  батареи.

**7.** Какое количество электрической энергии  $W$  надо израсходовать, чтобы при электролизе раствора  $AgNO_3$  выделилось  $m = 500$  мг серебра? Разность потенциалов на электродах  $U = 4$  кВ.

**8.** В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 2$  Тл движется протон. Траектория его движения представляет собой винтовую линию с радиусом  $R = 10$  см и шагом  $h = 60$  см. Определить кинетическую энергию  $T$  протона.

**9.** По кольцу, сделанному из тонкого гибкого провода, радиус  $R$  которого равен  $10$  см, течет ток  $I = 100$  А. Перпендикулярно плоскости кольца возбуждено магнитное поле с индукцией  $B = 0,1$  Тл, по направлению совпадающей с индукцией  $B_1$  собственного магнитного поля кольца. Определить работу  $A$  внешних сил, которые, действуя на провод, деформировали его и придали ему форму

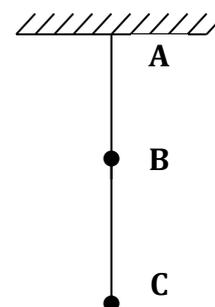
квадрата. Сила тока при этом поддерживалась неизменной. Работой против упругих сил пренебречь.

10. Индуктивность  $L$  соленоида длиной  $l = 1$  м, намотанного в один слой на немагнитный каркас, равна  $1,6$  мГн. Площадь  $S$  сечения соленоида равна  $20$  см<sup>2</sup>. Определить число  $n$  витков на каждом сантиметре длины соленоида.

11. В магнитном поле, индукция  $B$  которого равна  $0,1$  Тл, помещена квадратная рамка из медной проволоки. Площадь поперечного сечения проволоки  $S_1 = 1$  мм<sup>2</sup>, площадь рамки  $S_2 = 25$  см<sup>2</sup>, нормаль к плоскости рамки направлена по силовым линиям поля. Какое количество электричества  $q$  пройдет по контуру рамки при исчезновении магнитного поля? Удельное сопротивление меди  $17$  нОм/м.

### Вариант 6

1. Одинаковые шарики массой  $m = 1$  г подвешены на нити, как показано на рисунке  $|BC| = 3$  см. Найти силу натяжения нити на участках АВ и ВС, если шарикам сообщили заряды по  $10$  нКл. Заряды разноименные.



2. В основании равностороннего треугольника со стороной  $a = 10$  см находятся заряды по  $+q = 10$  нКл каждый, а в вершине – заряд  $-q = 10$  нКл. Найти напряженность и потенциал поля в центре треугольника.

3. Какая совершается работа при перемещении точечного заряда  $q = 20$  нКл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии  $d = 1$  см от поверхности шара радиусом  $r = 1$  см с поверхностной плотностью заряда  $\sigma = 10$  мКл/м<sup>2</sup>?

4. Плоский воздушный конденсатор заряжен до разности  $U = 60$  В и отключен. Затем вплотную к одной из обкладок введена пластина толщиной в два раза меньше зазора с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2$ . Чему будет равна разность потенциалов после введения диэлектрика?

5. Амперметр с внутренним сопротивлением  $R_1 = 2$  Ом, подключенный к зажимам батареи, показывает ток  $I_1 = 5$  А. Вольтметр с внутренним сопротивлением  $R_2 = 150$  Ом, подключенный к зажимам такой же батареи, показывает  $U = 12$  В. Найти ток  $I_{к.з.}$  короткого замыкания.

6. При поочередном подключении к источнику двух сопротивлений  $R_1 = 3$  Ом и  $R_2 = 48$  Ом в них выделяется одинаковая мощность  $P = 1,2$  кВт. Определить силу тока при коротком замыкании источника тока.

7. При силе тока  $5$  А за  $10$  минут в электролитической ванне выделилось  $1,017$  г двухвалентного металла. Определить его относительную молекулярную массу.

8. Электрон влетел в однородное магнитное поле напряженностью  $H = 16$  кА/м со скоростью  $v = 8$  Мм/с. Вектор скорости составляет угол  $\alpha = 60^\circ$  с направлением линий индукции. Определить радиус  $R$  и шаг  $h$  винтовой линии, по которой будет двигаться электрон в магнитном поле.

9. Прямой провод длиной  $l = 10$  см помещен в однородное магнитное поле с индукцией  $B = 1$  Тл. Концы его замкнуты гибким проводом, находящимся вне поля. Сопротивление  $R$  всей цепи равно  $0,4$  Ом. Какая мощность  $P$  потребуется

для того, чтобы двигать провод перпендикулярно линиям индукции со скоростью  $v = 20$  м/с?

**10.** Соленоид содержит  $N = 1000$  витков. Площадь  $S$  сечения сердечника равна  $10$  см<sup>2</sup>. По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией  $B = 1,5$  Тл. Найти среднюю ЭДС самоиндукции, возникающей в соленоиде, если ток уменьшится до нуля за время  $t = 500$  мкс.

**11.** Рамка из провода сопротивлением  $R = 0,01$  Ом равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,05$  Тл. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь  $S$  рамки равна  $100$  см<sup>2</sup>. Определить, какое количество электричества  $q$  протечет через рамку за время поворота её на угол  $\alpha = 30^\circ$  в следующих трех случаях: 1) от  $\alpha_0 = 0$  до  $\alpha_1 = 30^\circ$ ; 2) от  $\alpha_1$  до  $\alpha_2 = 60^\circ$ ; 3) от  $\alpha_2$  до  $\alpha_3 = 90^\circ$ .

### Вариант 7

**1.** Три точечных положительных заряда  $+|q| = 10$  нКл расположены в вершинах равностороннего треугольника, в центре которого находится заряд  $-|q| = 10$  нКл. Чему равны силы, действующие на заряды в центре и вершине треугольника? Сторона треугольника равна  $10$  см.

**2.** Расстояние между зарядами  $10$  нКл и  $-1$  нКл равно  $1,1$  м. Найти напряженность поля в точке на прямой, соединяющей заряды, в которой потенциал равен нулю.

**3.** Шарик массой  $m=3$ г, имеющий заряд  $q_1 = 20$  нКл, подвешен на тонкой непроводящей нити. Определить, натяжение нити, если внизу на расстоянии  $r = 0,1$  м расположен второй заряд  $q_2 = -150$  нКл.

**4.** Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C = 3$  мкФ подключили к источнику  $U = 150$  В. Определить какую работу нужно совершить, чтобы увеличить расстояние между пластинами в два раза при подключенном источнике.

**5.** Батарея с внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом замкнута на сопротивление  $R$ . Вольтметр, подключенный к зажимам батареи, показывает напряжение  $U_1 = 20$  В. Когда параллельно сопротивлению  $R$  присоединяется такое же сопротивление  $R$ , показание вольтметра уменьшается до  $U_2 = 15$  В. Определить сопротивление  $R$ , считая, что сопротивление вольтметра намного больше  $R$ . Сопротивлением подводющих проводов пренебречь.

**6.** Определить ток короткого замыкания источника, если при токе  $5$  А нагрузка потребляет мощность  $30$  Вт, а при силе тока  $10$  А она потребляет мощность  $40$  Вт.

**7.** К источнику тока параллельно подключены две электролитические ванны. Через источник течет ток силой  $I = 7$  А. В первой ванне, где находится раствор соли никеля, за время  $t = 10$  мин выделилось  $m_1 = 0,36$  г никеля. Во второй ванне, где находится раствор соли серебра, за это же время выделилось  $m_2 = 3,35$  г серебра. Определить электрохимический эквивалент серебра  $k_2$ , если электрохимический эквивалент никеля  $k_1 = 3 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл.

**8.** По проволочной рамке, имеющей форму правильного шестиугольника, идет ток силой  $I = 2$  А. При этом в центре рамки образуется магнитное поле напря-

женностью  $H = 33 \text{ А/м}$ . Определить длину  $l$  проволоки, из которой сделана рамка.

**9.** К источнику тока с ЭДС  $0,5 \text{ В}$  и ничтожно малым внутренним сопротивлением присоединены два металлических стержня, расположенных горизонтально и параллельно друг другу. Расстояние  $l$  между стержнями равно  $20 \text{ см}$ . Стержни находятся в однородном магнитном поле, направленном вертикально. Магнитная индукция поля  $B = 1,5 \text{ Тл}$ . По стержням под действием сил поля скользит со скоростью  $v = 1 \text{ м/с}$  прямолинейный провод сопротивлением  $R = 0,02 \text{ Ом}$ . Сопротивление стержней пренебрежимо мало. Определить: ЭДС индукции; силу тока в цепи; мощность, расходуемую на нагревание провода; мощность, отдаваемую в цепь источника тока.

**10.** В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1 \text{ Тл}$  равномерно с частотой  $n = 5 \text{ с}^{-1}$  вращается стержень длиной  $l = 50 \text{ см}$  так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям индукции, а ось вращения проходит через один из его концов. Определить индуцируемую на концах стержня разность потенциалов  $U$ .

**11.** Рамка площадью  $S = 100 \text{ см}^2$  равномерно вращается с частотой  $n = 5 \text{ с}^{-1}$  относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной линиям индукции однородного магнитного поля ( $B = 0,5 \text{ Тл}$ ). Определить среднее значение ЭДС индукции за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку, изменится от нуля до максимального значения.

### Вариант 8

**1.** Точечные заряды  $q = 10 \text{ нКл}$  расположены в вершинах квадрата (рис.). Чему равны силы, действующие на заряды в центре и вершине квадрата А? Сторона квадрата равна  $10 \text{ см}$ .

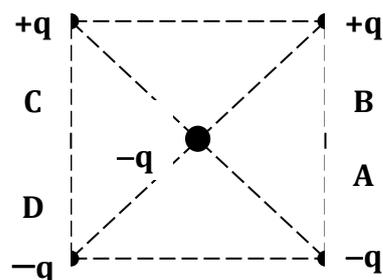
**2.** Между зарядами  $+6,4 \text{ мкКл}$  и  $-6,4 \text{ мкКл}$  расстояние равно  $12 \text{ см}$ . Найти напряженность поля в точке, удаленной на  $8 \text{ см}$  от обоих зарядов.

**3.** Имеются заряды  $+10 \text{ нКл}$  и  $-10 \text{ нКл}$ . Найти в поле зарядов потенциал той точки, которая находится на расстоянии  $10 \text{ см}$  от первого и  $20 \text{ см}$  от второго заряда.

**4.** Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком, объем которого  $V = 10 \text{ см}^3$ ,  $\epsilon = 4$ . Поверхностная плотность заряда на пластинах  $\sigma = 10^{-8} \text{ Кл/м}^2$ . Вычислить работу по удалению диэлектрика из конденсатора.

**5.** Электрическая схема составлена из двух параллельно соединенных сопротивлений  $R_1 = 40 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 10 \text{ Ом}$ , подключенных к зажимам аккумулятора, ЭДС которого  $E = 10 \text{ В}$ . Сила тока в общей цепи  $I = 1 \text{ А}$ . Найти внутреннее сопротивление  $r$  аккумулятора и силу тока  $I_{к.з}$  короткого замыкания.

**6.** Электрический нагреватель работает от сети с напряжением  $120 \text{ В}$  при силе тока  $5 \text{ А}$  и за  $20 \text{ мин}$  нагревает  $1,5 \text{ л}$  воды на  $84 \text{ С}$ . Определить потери энергии в процессе нагревания и КПД нагревателя.



7. Никелирование металлического изделия с площадью поверхности  $120 \text{ см}^2$  продолжалось 5 часов при силе тока  $0,3 \text{ А}$ . Определить толщину слоя никеля. Плотность никеля  $8800 \text{ кг/м}^3$ .
8. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов и влетела в скрещенные под прямым углом электрическое с напряженностью  $E = 400 \text{ В/м}$  и магнитное с индукцией  $B = 0,2 \text{ Тл}$  поля. Определить ускоряющую разность потенциалов  $U$ , если, двигаясь перпендикулярно обоим полям, частица не испытывает отклонений от прямолинейной траектории. Удельный заряд частицы (отношение заряда частицы к её массе)  $q/m = 9,64 \cdot 10^7 \text{ Кл/кг}$ .
9. Рамка из провода сопротивлением  $R = 0,04 \text{ Ом}$  равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,6 \text{ Тл}$ . Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки  $S = 200 \text{ см}^2$ . Определить заряд  $q$ , который протечет по рамке при изменении угла между нормалью к рамке и линиями индукции: 1) от  $\alpha_1 = 0^\circ$  до  $\alpha_2 = 45^\circ$ ; 2) от  $\alpha_2$  до  $\alpha_3 = 90^\circ$ .
10. Электромагнит индуктивностью  $5 \text{ Гн}$  подключен к источнику тока, ЭДС которого  $110 \text{ В}$ . Определить общую ЭДС в момент размыкания цепи, если сила тока при этом убывает со скоростью  $8 \text{ А/с}$ .
11. Соленоид имеет длину  $l = 0,6 \text{ м}$  и площадь поперечного сечения  $S = 10 \text{ см}^2$ . При некоторой силе тока, протекающего по обмотке, в соленоиде создается магнитный поток  $\Phi = 0,1 \text{ Вб}$ . Чему равна энергия  $W$  магнитного поля соленоида? Сердечник выполнен из немагнитного материала. Магнитное поле во всем объеме однородно.

### Вариант 9

1. Одинаковые металлические шарики, заряженные одноименно зарядами  $q$  и  $4q$ , находятся на расстоянии  $r$  друг от друга. Шарики привели в соприкосновение. На какое расстояние  $x$  надо их развести, чтобы сила взаимодействия осталась прежней?
2. Заряженный шар имеет поверхностную плотность  $\sigma = 10 \text{ нКл/м}^2$ . Найти напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности шара на расстоянии, равной его диаметру, если радиус шара равен  $20 \text{ см}$ .
3. Между двумя горизонтально расположенными пластинами создается электрическое поле, в котором находится в равновесии капелька масла массой  $10 \text{ мг}$ , несущая на себе  $3000$  электронов. После облучения капелька потеряла часть электронов и стала двигаться вниз с ускорением  $6 \text{ м/с}^2$ . Сколько электронов потеряла капелька?
4. Сплошной шар радиусом  $r$  равномерно заряжен с объемной плотностью  $\rho$  ( $\text{Кл/м}^3$ ). Определить энергию электрического поля шара вне его, если шар помещен в диэлектрик с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ .
5. Резистор сопротивлением  $R = 12 \text{ Ом}$  подключен к источнику постоянного тока. При этом напряжение на зажимах источника составляет  $U_1 = 6 \text{ В}$ . Если параллельно первому резистору подключить второй такой же, то напряжение на

зажимах источника станет равным  $U_2 = 5$  В. Определить внутреннее сопротивление  $r$  источника тока.

6. Источник отдает во внешнюю цепь максимальную мощность 9 Вт. Сила тока при этом 3 А. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

7. Какой ток должен проходить через электролит, чтобы за 1 минуту разлагался 1 г воды? Каков объем выделившегося при этом гремучего газа (при нормальных условиях)?

8. Плоский конденсатор, между пластинами которого создано электрическое поле напряженностью  $E = 100$  В/м, помещен в магнитное поле так, что силовые линии полей взаимно перпендикулярны. Какова должна быть индукция  $B$  магнитного поля, чтобы электрон с начальной энергией  $T = 4$  кэВ, влетевший в пространство между пластинами конденсатора перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, не изменил направления скорости?

9. Рамка площадью  $S = 100$  см<sup>2</sup> содержит  $N = 1000$  витков провода общим сопротивлением  $R_1 = 12$  Ом. К концам обмотки подключено внешнее сопротивление  $R_2 = 20$  Ом. Рамка равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1$  Тл с частотой  $n = 8$  с<sup>-1</sup>. Определить максимальную мощность  $P_{max}$  переменного тока в цепи.

10. Прямоугольный проводящий контур со сторонами  $a = 20$  см и  $b = 10$  см содержит  $N = 100$  витков, расположен перпендикулярно магнитному полю с индукцией, изменяющейся по закону  $B = (3 + 2t^2) \cdot 10^{-2}$ . Определить зависимость потокосцепления и ЭДС индукции от времени, а также мгновенные значения потокосцепления и ЭДС индукции в конце десятой секунды.

11. На картонный каркас длиной  $l = 50$  см и площадью  $S$  сечения, равной 4 см<sup>2</sup>, намотан в один слой провод диаметром  $d = 0,2$  мм, так что витки плотно прилегают друг к другу (толщиной изоляции можно пренебречь). Определить индуктивность  $L$  получившегося соленоида.

### Вариант 10

1. Шарик массой  $m = 3$  г, имеющий заряд  $q_1 = 20$  нКл, подвешен на тонкой непроводящей нити. Определить натяжение нити, если внизу на расстоянии  $r = 0,1$  м расположен второй заряд  $q_2 = -150$  нКл.

2. Два заряда  $q_1 = 1,33 \cdot 10^{-7}$  Кл и  $q_2 = -1,33 \cdot 10^{-7}$  Кл расположены в масле ( $\epsilon = 2,5$ ) на расстоянии 20 см друг от друга. Какова напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 8 см от положительного заряда, по линии, соединяющей центры заряда?

3. Электрон переместился в ускоряющем поле из точки с потенциалом 200 В в точку с потенциалом 300 В. Найти кинетическую энергию и скорость электрона в конце пути, изменение потенциальной энергии, если начальная скорость была равна  $10^7$  м/с.

4. Три источника ЭДС  $\epsilon_1 = 6$  В,  $\epsilon_2 = 3$  В и  $\epsilon_3 = 2$  В и три конденсатора  $C_1 = 3$  мкФ,  $C_2 = 2$  мкФ и  $C_3 = 1$  мкФ соединены между собой последовательно друг с другом. Найти напряжение на конденсаторах.

5. К клеммам источника постоянного тока, замкнутого на внешнее сопротивление  $R = 8 \text{ Ом}$ , подключен конденсатор. Если конденсатор включить в эту цепь последовательно, то заряд на его обкладках окажется больше в  $k = 1,5$  раза. Определить внутреннее сопротивление  $r$  источника.
6. Вольтметр, подсоединенный к источнику тока, показывает напряжение  $U_1 = 10 \text{ В}$ . Если параллельно первому присоединить второй такой же вольтметр, то оба они показывают напряжение  $U_2 = 8 \text{ В}$ . Определить внутреннее сопротивление  $r$  источника тока, если сопротивление каждого вольтметра  $R = 60 \text{ Ом}$ .
7. Определить затраты электроэнергии на получение  $1 \text{ кг}$  алюминия, если электролиз ведется при напряжении  $10 \text{ В}$ , а КПД установки составляет  $80\%$ .
8. Плоский конденсатор, между пластинами которого создано электрическое поле напряженностью  $E = 100 \text{ В/м}$ , помещен в магнитное поле так, что силовые линии полей взаимно перпендикулярны. Какова должна быть индукция  $B$  магнитного поля, чтобы электрон с начальной энергией  $T = 4 \text{ кэВ}$ , влетевший в пространство между пластинами конденсатора перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, не изменил направления скорости?
9. Рамка площадью  $S = 100 \text{ см}^2$  содержит  $N = 1000$  витков провода общим сопротивлением  $R_1 = 12 \text{ Ом}$ . К концам обмотки подключено внешнее сопротивление  $R_2 = 20 \text{ Ом}$ . Рамка равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1 \text{ Тл}$  с частотой  $n = 8 \text{ с}^{-1}$ . Определить максимальную мощность  $P_{\text{max}}$  переменного тока в цепи.
10. Прямоугольный проводящий контур со сторонами  $a = 20 \text{ см}$  и  $b = 10 \text{ см}$  содержит  $N = 100$  витков, расположен перпендикулярно магнитному полю с индукцией, изменяющейся по закону  $B = (3 + 2t^2) \cdot 10^{-2}$ . Определить зависимость потокосцепления и ЭДС индукции от времени, а также мгновенные значения потокосцепления и ЭДС индукции в конце десятой секунды.
11. На картонный каркас длиной  $l = 50 \text{ см}$  и площадью  $S$  сечения, равной  $4 \text{ см}^2$ , намотан в один слой провод диаметром  $d = 0,2 \text{ мм}$ , так что витки плотно прилегают друг к другу (толщиной изоляции можно пренебречь). Определить индуктивность  $L$  получившегося соленоида.

## Контрольная работа № 4

### Геометрическая оптика

#### Вариант 1

1. Найти угол между падающим и отраженным лучами света, если отражение дважды произошло от двух плоских зеркал с острым углом  $\varphi$  между ними.
2. Выйдет ли световой луч из воды в воздух, если угол падения равен  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ? Показатель преломления воды  $n = 1,33$ .
3. Пучок солнечных лучей падает на вогнутое сферическое зеркало и, отразившись, собирается в точке, отстоящей от зеркала на 36 см. Каков радиус кривизны зеркала?
4. При одном положении линзы на экране получается увеличенное изображение в три раза. При другом положении линзы - уменьшенное в три раза. Определить расстояние между обоими положениями линзы. Расстояние между предметом и экраном 60 см.

#### Вариант 2

1. Предмет, находящийся перед плоским зеркалом, передвинули по прямой под углом  $30^\circ$  к плоскости зеркала на расстояние 0,4 м. На сколько изменилось расстояние между предметом и его изображением?
2. Найти смещение  $a$  луча, проходящего через прозрачную пластинку с параллельными гранями, если угол падения луча равен  $\alpha$ , угол преломления  $\beta$ , а толщина пластины  $d$ .
3. На главной оптической оси вогнутого зеркала с радиусом кривизны 160 см помещен точечный источник света. Его мнимое изображение получилось за зеркалом на расстоянии 70 см от него. Определить, где находится источник света.
4. С помощью фотоаппарата  $9 \times 12 \text{ см}^2$  требуется снять здание длиной 50 м. На каком расстоянии нужно установить аппарат, чтобы весь фасад здания уместился на пластинке? Фокусное расстояние объектива 12 см.

#### Вариант 3

1. Найти угол между падающим и отраженным лучами света, если отражение произошло дважды от двух плоских зеркал с острым углом  $45^\circ$  между ними.
2. Луч света падает перпендикулярно к боковой поверхности призмы, преломляющий угол которой  $30^\circ$ . Найти угол отклонения луча от первоначального направления после выхода из призмы. Показатель преломления материала призмы  $n = 1,4$ .
3. Оптическое изображение предмета, помещенного перед вогнутым сферическим зеркалом, находится от него на расстоянии 0,8 м. Фокусное расстояние зеркала  $F = 0,6$  м. На каком расстоянии от зеркала находится предмет? Найти увеличение зеркала.

4. Расстояние между лампой и экраном 3,2 м. Фокусное расстояние линзы  $F = 0,6$  м. Определить: на каком расстоянии от лампы надо установить линзу, чтобы получить четкое изображение лампы на экране, увеличенное в три раза?

#### Вариант 4

1. Как изменится угол между падающим и отраженным лучами света, если угол падения уменьшится на  $10^\circ$ ?
2. На столе лежит лист бумаги. Луч света, падающий на бумагу под углом  $45^\circ$ , дает на ней светлое пятно. На сколько сместится это пятно, если на бумагу положить стеклянную пластинку толщиной 5 см?  $n = 1,5$ .
3. На расстоянии 2,8 м от вогнутого зеркала с радиусом кривизны 90 см на главной оптической оси помещен точечный источник света. Где получится изображение этого источника?
4. Диапозитив имеет размер  $8 \times 8$  см<sup>2</sup>. Определить оптическую силу линзы объектива, если изображение диапозитива на экране должно иметь размеры  $1,2 \times 1,2$  м<sup>2</sup>. Расстояние от объектива до экрана 4 м.

#### Вариант 5

1. Зеркальный гальванометр расположен на расстоянии 2 м от шкалы. На какой угол повернулось зеркальце, если «зайчик» сместился от центра шкалы на 50 см?
2. Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластинку под углом  $45^\circ$ . Какова толщина пластинки, если при выходе из неё луч сместился на 15 мм? Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ .
3. Определить увеличение, создаваемое вогнутым сферическим зеркалом с радиусом кривизны 64 см, если предмет помещается на расстоянии 16 см от зеркала.
4. Расстояние от лампочки до экрана 1 м. На каком расстоянии от лампочки нужно поставить собирающую линзу с фокусным расстоянием 24 см, чтобы получить на экране резкое изображение лампочки?

#### Вариант 6

1. Как изменится угол между падающим и отраженным лучами, если угол падения увеличить на  $20^\circ$ ?
2. Определить толщину стеклянной плоскопараллельной пластинки с показателем преломления 1,7, если луч света, пройдя эту пластинку, смещается на 2 см. Угол падения луча равен  $60^\circ$ .
3. Вогнутое сферическое зеркало дает на экране 12 кратное увеличение, когда предмет находится на расстоянии 45 см от зеркала. Определить фокусное расстояние и радиус кривизны этого зеркала.
4. Каково фокусное расстояние линзы, если для получения изображения предмета в натуральную величину предмет этот должен быть помещен на расстоянии 20 см от линзы? Выразить в диоптриях оптическую силу линзы.

### Вариант 7

1. Длина волны фиолетового света в вакууме 400 нм. Определить длину волны этого излучения в драгоценном камне топазе, если его абсолютный показатель преломления равен 1,63.
2. Луч падает на плоскую стеклянную пластинку толщиной 3 см под углом  $\alpha = 70^\circ$ . Определить смещение луча внутри пластинки.
3. На расстоянии 150 см от выпуклого сферического зеркала с радиусом кривизны 72 см расположена светящаяся точка. Определить расстояние от изображения этой точки до зеркала. Определить увеличение зеркала.
4. Главное фокусное расстояние двояковыпуклой линзы 50 см. Предмет высотой 1,2 см помещен на расстоянии 60 см от линзы. Где и какой высоты получится изображение этого предмета?

### Вариант 8

1. Длина волны желтого света в вакууме 580 нм, а в жидком бензоле 386 нм. Определить абсолютный показатель преломления бензола.
2. На призму с преломляющим углом  $40^\circ$  падает луч под углом  $30^\circ$ . Определить угол смещения луча после выхода из призмы, если показатель преломления её вещества 1,5.
3. В выпуклом сферическом зеркале получается уменьшенное в десять раз изображение предмета, находящегося на расстоянии 180 см от зеркала. Определить радиус кривизны этого зеркала.
4. Расстояние между свечой и стенкой 2 м. Когда между ними поместили собирающую линзу на расстоянии 40 см от свечи, то на стене получилось отчетливое изображение свечи. Определить главное фокусное расстояние линзы. Какое изображение получилось на экране?

### Вариант 9

1. На какой высоте находится лампа над горизонтальной поверхностью стола, если тень от вертикально поставленного на стол карандаша длиной 15 см оказалась равной 10 см? Расстояние от основания перпендикуляра, опущенного из центра лампы на поверхность стола, до основания карандаша равна 90 см.
2. Определить угол преломления луча при переходе из воздуха в этиловый спирт, если угол между отраженным и преломленным лучами  $120^\circ$ .
3. Радиус кривизны вогнутого зеркала  $R = 40$  см. Найти положение объекта, при котором его изображение будет действительным и увеличенным в два раза.
4. Рисунок на диапозитиве имеет высоту 2 см, а на экране 80 см. Определить оптическую силу объектива, если расстояние от объектива до диапозитива 20,5 см.

### Вариант 10

1. На расстоянии 1,2 м от зеркала на стене висит плоский экран, параллельный плоскости зеркальца. Горизонтальный луч света падает в центр зеркальца под углом  $12^\circ$  и отражается на экран. На какое расстояние переместится световой зайчик на экране при повороте зеркальца на  $15^\circ$ ?
2. Луч света падает под углом  $57^\circ$  на тело с показателем преломления ( $n$ ). Отраженный луч перпендикулярен к преломленному. Найти показатель преломления тела.
3. Выпуклое сферическое зеркало дает уменьшенное в 2 раза изображение предмета. Определить фокусное расстояние и радиус кривизны зеркала, если расстояние между предметом и его изображением равно 45 см.
4. Радиусы кривизны поверхностей двояковыпуклой линзы  $R_1 = R_2 = 50$  см. Показатель преломления материала линзы 1,5. Предмет поместили на расстоянии 20 см от линзы. Найти оптическую силу линзы и положение ( $f$ ) изображения.

Бахмат Владимир Ильич

## ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ

Методическое пособие и контрольные задания  
для студентов дневной формы обучения направления  
«Электроэнергетика и электротехника»

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано в печать 07.05.15. Формат 60-84 1/16.  
Усл. печ. л. 3,94. Тираж 50экз. Заказ 151422. Рег. № 54.

Отпечатано в ИТО Рубцовского индустриального института  
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.