

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»  
Новотроицкий филиал

Кафедра Математики и естествознания

М.Н.Белова

**ФИЗИКА**  
**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ. МОЛЕКУЛЯРНАЯ**  
**ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И**  
**МАГНЕТИЗМ**

Методические указания  
по выполнению контрольной работы №1  
для студентов направлений 080100 «Экономики»  
и 080200 «Менеджмент»  
заочной формы обучения

Новотроицк, 2014

УДК 53  
ББК 22.3  
Б 43

**Рецензенты:**

**Соколов А.А.**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общеобразовательных и профессиональных дисциплин Орского филиала ФГБОУ ВПО «Самарский государственный университет путей сообщения»

**Швалёва А.В.**, кандидат педагогических наук, доцент кафедры Математики и естествознания ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

**Белова, М.Н. Физика.** Физические основы механики. Молекулярная физика и термодинамика. Основы электродинамики: методические указания по выполнению контрольной работы. - Новотроицк, НФ НИТУ «МИСиС», 2014. – 44 с.

В методических указаниях подробно освещаются все вопросы, связанные с выполнением контрольной работы №1 по курсу «Физика ч.1». Указания содержат теоретические сведения, примеры решения задач, задачи для самостоятельного решения, необходимый справочный материал, приводится содержание контрольной работы.

Методические указания предназначены для студентов, изучающих дисциплину «Физика» в двух частях, обучающихся по направлениям: 080100 «Экономика», 080200 «Менеджмент» заочной формы обучения.

*Рекомендовано Методическим советом НФ НИТУ «МИСиС»*

© Новотроицкий филиал  
ФГАОУ ВПО  
«Национальный  
исследовательский  
технологический  
университет «МИСиС»,  
2014г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
<b>I Физические основы механики.....</b>	<b>6</b>
1.1 Основные формулы.....	6
1.2 Примеры решения задач.....	8
1.3 Задачи для самостоятельного решения	12
<b>II Молекулярная физика и термодинамика.....</b>	<b>13</b>
2.1 Основные формулы.....	13
2.2 Примеры решения задач.....	15
2.3 Задачи для самостоятельного решения	20
<b>III Электричество и магнетизм.....</b>	<b>21</b>
3.1 Основные формулы.....	21
3.2 Примеры решения задач.....	24
3.3 Задачи для самостоятельного решения .....	31
<b>IV Контрольная работа №1.....</b>	<b>32</b>
Библиографический список.....	40
Приложение А.....	41
Приложение Б.....	42
Приложение В.....	43

## ВВЕДЕНИЕ

Физика – наука о природе: о строении, свойствах и взаимодействии составляющих ее материальных тел и полей. Целью дисциплины является обеспечение студента основой его теоретической подготовки в различных областях физической науки, а также формирование у студентов знаний и умений, необходимых для свободной ориентации в профессиональной среде и дальнейшего профессионального самообразования.

Задачи курса:

- подготовить грамотного, социально активного специалиста, владеющего культурой мышления, способного использовать физико-математический аппарат в ходе профессиональной деятельности, соблюдающего этические и правовые нормы в межличностном общении;

- закрепить полученные на этапе общего среднего уровня образования знания и умения в области физической науки;

- осуществить продвижение на пути понимания студентом возможностей, предоставляемых современной физической наукой.

Цель настоящего пособия – оказать помощь в самостоятельной работе студентов при изучении ими первой части физики, которая включает в себя темы: «Физические основы механики», «Молекулярная физика и термодинамика», «Электричество и магнетизм».

Методические указания формируют следующие компетенции -

способность использовать для решения аналитических и исследовательских задач современные технические средства и информационные технологии.

Методические указания написаны в соответствии с действующей программой курса физики для студентов, изучающих данную дисциплину в двух частях два семестра (направления 080100, 080200) и предназначено для студентов заочной формы обучения.

.Пособие содержит указания по изучению теории, примеры решения задач и задачи для самостоятельного решения.

Контрольная работа включает десять задач и выполняется по вариантам. Номера задач определяются по таблице вариантов (приложение А), номер варианта соответствует двум последним цифрам номера зачетной книжки.

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради, титульный лист оформляется согласно приложению Б.

При оформлении решения задач необходимо выполнять следующие правила:

1. Записать полностью условие задачи. Выписать все величины, входящие в условие, столбиком и выразить их в единицах Международной системы единиц (СИ).

2. Выполнить чертеж, поясняющий условие задачи (в тех случаях, когда это возможно); выполнить его надо аккуратно с помощью чертежных принадлежностей.

3. Указать основные законы и формулы, на которых базируется решение задачи, разъяснить употребляемые буквенные обозначения.



Если при решении задачи применяется формула, полученная для частного случая, не выражающая физического закона, то ее следует вывести. Пояснения должны быть краткими, но исчерпывающими.

4. Решить задачу в общем виде, то есть выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи и взятых из таблиц.

Таблицы физических величин находятся в приложении В.

5. Подставить в рабочую формулу размерности или сокращенные обозначения единиц измерения величин и убедиться в правильности размерности искомой величины (см. примеры решения задач).

6. Подставить в окончательную формулу, полученную в результате решения задачи в общем виде, числовые значения, выраженные в единицах системы СИ.

Несоблюдение этого правила приводит к неверному результату.

7. Произвести вычисление величин, подставленных в формулу, руководствуясь правилами приближенных вычислений.

Контрольная работа, представленная для проверки без соблюдения указанных правил, а также работа, выполненная не по своему варианту, рецензироваться не будет.

Прорецензированную контрольную работу следует сохранять. Без предъявления прорецензированной контрольной работы, студент не допускается к сдаче зачета или экзамена.

# I. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Изучение раздела следует начинать с проработки теоретического материала по информационным источникам: конспекта лекций, учебника (в качестве основного рекомендовано учебное пособие [1], в качестве вспомогательного рекомендовано учебное пособие [2]).

Затем необходимо тщательно ознакомиться с содержанием данных методических указаний по физике.

Изучите [1] гл.1-4, §§ 1-21, и усвойте основные понятия – материальная точка, путь, перемещение, скорость, ускорение, угловая скорость, угловое ускорение, импульс тела, сила, работа, мощность, кинетическая энергия, потенциальная энергия, момент силы, момент инерции; основные законы – три закона Ньютона, закон сохранения импульса, закон сохранения энергии, теорема Штейнера, основное уравнение динамики вращательного движения.

Ознакомьтесь с решением типовых задач по данной теме (рекомендуются учебные пособия [3], [4], [5],[6],[7],[8]) и после этого приступайте к выполнению заданий к.р. №1.

## 1.1 Основные формулы

Таблица 1 – Основные формулы раздела «Физические основы механики»

Физическая величина, закон, уравнение	Формула
<b>Скорость мгновенная</b>	$v = \frac{dr}{dt} = \frac{ds}{dt} \tau$ <p>где <math>r</math> – радиус-вектор материальной точки,  <math>t</math> – время,  <math>s</math> – расстояние вдоль траектории движения,  <math>\tau</math> – единичный вектор, касательный к траектории</p>
<b>Ускорение</b> <i>мгновенное</i>  <i>тангенциальное</i>  <i>нормальное</i>  <i>полное</i>	$a = \frac{dv}{dt}$ $a_r = \frac{dv}{dt} \tau$ $a_n = \frac{v^2}{R} n$ $a = a_r + a_n, a = \sqrt{a_r^2 + a_n^2}$ <p>где <math>R</math> – радиус кривизны траектории,  <math>n</math> – единичный вектор главной нормали.</p>

Скорость угловая	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ <p>где <math>\varphi</math> – угловое перемещение</p>
Ускорение угловое	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$
Связь между линейными и угловыми величинами	$s = \varphi R, v = \omega R$ $a_r = \varepsilon R, a_n = \omega^2 R$
Импульс (количество движения) материальной точки	$p = mv$ <p>где <math>m</math> – масса материальной точки</p>
Основное уравнение динамики материальной точки (второй закон Ньютона)	$F = \frac{dp}{dt} = ma$
Закон сохранения импульса для изолированной системы	$\sum m_i v_i = const.$
Радиус-вектор центра масс	$r_c = \frac{\sum m_i r_i}{\sum m_i}$
Скорости частиц после столкновения: <i>упругого центрального</i>          <i>неупругого</i>	$u_1 = -v_1 + 2 \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$ $u_2 = -v_2 + 2 \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$ $u_1 = u_2 = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$ <p>где <math>v_1</math> и <math>v_2</math> скорости частиц до столкновения, <math>m_1</math> и <math>m_2</math> - массы частиц.</p>
Сила сухого трения	$F_{тр} = f F_n$ <p>где <math>f</math> – коэффициент трения, <math>F_n</math> – сила нормального давления.</p>
Сила упругости	$F_{уп} = k \Delta l$ <p>где <math>k</math> – коэффициент упругости (жесткость), <math>\Delta l</math> – деформация</p>
Работа силы	$A = \int F ds.$

<b>Мощность</b>	$N = \frac{dA}{dt} = Fv$
<b>Потенциальная энергия:</b> упругодеформированного тела  тела в однородном гравитационном поле	$\Pi = \frac{k(\Delta l)^2}{2}$ $\Pi = mgh$ <p>где <math>g</math> – напряженность гравитационного поля (ускорение свободного падения), <math>h</math> – расстояние от нулевого уровня.</p>

## 1.2 Примеры решения задач

### Пример 1.1:

Кинематическое уравнение материальной точки имеет вид  $x=4t-t^2+2t^3$ .

1) Найдите зависимость скорости и ускорения от времени; 2) вычислите среднюю скорость и среднее ускорение точки за промежуток времени от  $t_1=2$ с до  $t_2=4$ с.

Дано:  $x=4t-t^2+2t^3$

Найти:  $v_{cp}$ ,  $a_{cp}$ .

Решение:

. Зависимость скорости от времени определяется как первая производная от координаты по времени

$$v = \frac{dS}{dt}$$

$$v=4-2t+6t^2.$$

Зависимость ускорения определяется как первая производная от скорости по времени

$$a = \frac{dv}{dt}$$

$$a=-2+12t.$$

Средняя скорость материальной точки определяется по формуле

$$v_{cp} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Вычислим координаты точки для моментов времени  $t_1$  и  $t_2$

$$x_1=4 \cdot 2-2^2+2 \cdot 2^3=20 \text{ м}$$

$$x_2=4 \cdot 4-4^2+2 \cdot 4^3=128 \text{ м}$$

Вычислим среднюю скорость

$$v_{cp} = \frac{128\text{м} - 120\text{м}}{4\text{с} - 2\text{с}} = 4\text{м/с}$$

Среднее ускорение материальной точки определяется по формуле:

$$a_{cp} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

Вычислим скорость точки для моментов времени  $t_1$  и  $t_2$

$$v_1 = 4 - 2 \cdot 2 + 6 \cdot 2^2 = 24\text{м/с}$$

$$v_2 = 4 - 2 \cdot 4 + 6 \cdot 4^2 = 92\text{м/с}$$

Вычислим среднее ускорение

$$a_{cp} = \frac{92\text{м/с} - 24\text{м/с}}{4\text{с} - 2\text{с}} = 32\text{м/с}^2$$

**Ответ:**  $V_{cp}=4\text{м/с}$ ,  $a_{cp}=32\text{м/с}^2$ .

### Пример 1.2:

Точка движется по окружности радиусом 10см. Уравнение движения точки  $\varphi = 2t + 0,5t^3$ , рад. Определите для точки к концу третьей секунды после начала движения: 1) нормальное и тангенциальное ускорения; 2) полное ускорение.

*Дано:*  $\varphi = 2t + 0,5t^3$ , рад;  $R = 10\text{см} = 0,1\text{м}$ ;  $t = 3\text{с}$ .

*Найти:*  $a_\tau$ ,  $a_n$ ,  $a$ .

*Решение:* Тангенциальное ускорение определяется по формуле  $a_\tau = \varepsilon R$ , где угловое ускорение

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt},$$

где угловая скорость

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

$$\omega = 2 + 1,5t^2 = 2 + 1,5 \cdot 3^2 = 15,5\text{с}^{-1}; \quad \varepsilon = 3t = 3 \cdot 3 = 9\text{с}^{-2}$$

Вычислим тангенциальное ускорение  $a_\tau = 9 \cdot 0,1 = 0,9\text{ м/с}^2$

Вычислим нормальное ускорение  $a_n = \omega^2 R$

$$a_n = 15,5^2 \cdot 0,1 = 24,03\text{ м/с}^2$$

Полное ускорение

$$a = \sqrt{a_{\tau}^2 + a_n^2}, \quad a = \sqrt{24,03^2 + 0,9^2} = 24,04 \text{ м/с}^2$$

Число оборотов, совершенных точкой

$$N = \frac{\varphi}{2\pi}$$

$$\varphi = 2 \cdot 3 + 0,5 \cdot 3^3 = 19,5 \text{ рад}$$

Тогда

$$N = \frac{19,5}{2 \cdot 3,14} = 3,11$$

**Ответ:**  $a_{\tau} = 0,9 \text{ м/с}^2$ ,  $a_n = 24,03 \text{ м/с}^2$ ,  $a = 24,04 \text{ м/с}^2$ .

### Пример 1.3:

Диск массой  $m$  кг вращается с частотой  $600 \text{ мин}^{-1}$  вокруг горизонтальной оси, проходящей через его центр. Через  $25 \text{ с}$  под действием тормозящего момента диск остановился. Найдите тормозящий момент и число оборотов, которое сделал диск до полной остановки, радиус диска  $0,5 \text{ м}$ .

*Дано:*  $\omega = 0$ ;  $m = 6 \text{ кг}$ ;  $R = 0,5 \text{ м}$ ;  $t = 25 \text{ с}$ ;  $n = 600 \text{ мин}^{-1} = 10 \text{ с}^{-1}$ .

*Найти:*  $M$ ,  $N$ .

*Решение:* Для определения тормозящего момента  $M$  сил, действующих на диск, применим основное уравнение динамики вращательного движения:  $M = I \cdot \varepsilon$  угловое ускорение определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$I \cdot \Delta\omega = M \cdot \Delta t, \quad (1.3.1)$$

где  $I$  – момент инерции диска относительно оси, проходящей через центр масс;  $\Delta\omega$  – изменение угловой скорости за промежуток времени  $\Delta t$ .

По условию  $\Delta\omega = -\omega_0$ , где  $\omega_0$  – начальная угловая скорость, так как конечная угловая скорость  $\omega = 0$ . Выразим начальную угловую скорость через частоту вращения диска; тогда  $\omega_0 = 2\pi n$  и  $\Delta\omega = -2\pi n$ . Момент инерции диска  $I = mR^2/2$ , где  $m$  – масса диска;  $R$  – его радиус.

Формула (1.3.1) принимает вид:

$$mR^2 \pi n = M \Delta t \text{ откуда}$$

$$M = mR^2 \pi n / \Delta t$$

$$M = 3,14 \cdot 0,6 \text{ кг} \cdot 10 \text{ с}^{-1} \cdot 0,25 \text{ м}^2 / 25 \text{ с} = 0,188 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Угол поворота  $\varphi$  за время вращения диска до остановки определим по формуле для равнозамедленного вращения:

$$\varphi = \omega_0 t - \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad (1.3.2)$$

где  $\varepsilon$  – угловое ускорение. По условию  $\omega = \omega_0 - \varepsilon \Delta t$ , так как  $\omega = 0$ ,  $\omega_0 = \varepsilon \Delta t$ . Тогда выражение (1.3.2) можно записать в виде:

$$\varphi = \omega_0 \Delta t - \omega_0 \Delta t / 2 = \omega_0 \Delta t / 2.$$

Так как  $\varphi = 2\pi N$ ,  $\omega_0 = 2\pi n$ , то число полных оборотов  
 $N = n \Delta t / 2$ ,  $N = 10 \text{ с}^{-1} \cdot 25 \text{ с} / 2 = 125$

**Ответ:**  $M = 0,188 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;  $N = 125$

#### Пример 1.4:

Подъемный кран поднимает груз массой 4т, с ускорением  $0,3 \text{ м/с}^2$ .  
 Определите среднюю мощность крана за время от 2 с до 4 с, если коэффициент полезного действия крана 45%.

*Дано:*  $m = 4 \text{ т} = 4 \cdot 10^3 \text{ кг}$ ;  $a = 0,3 \text{ м/с}^2$ ;  $t_1 = 2 \text{ с}$ ;  $t_2 = 4 \text{ с}$ ;  $\eta = 45\% (0,45)$ .

*Найти:*  $N_{\text{ср}}$ .

*Решение:* КПД крана  $\eta = A / A_{\text{затр}}$ ,

Где  $A$  – полезная работа,  $A_{\text{затр}}$  – затраченная работа.

$A_{\text{затр}} = N_{\text{ср}}(t_2 - t_1)$ , откуда средняя мощность

$$N_{\text{ср}} = \frac{A}{\eta(t_2 - t_1)} \quad (1.4.1)$$

Полезная работа равна изменению энергии груза за промежуток времени  
 $(t_2 - t_1)$

$$A = E_2 - E_1 = \left( \frac{mV_2^2}{2} + mgh_2 \right) - \left( \frac{mV_1^2}{2} + mgh_1 \right) - \quad (1.4.2)$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – соответственно скорости груза в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ ;  $h_1$  и  $h_2$  – высота положения груза в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ . Из выражения (2) находим

$$A = ma(g + a)(t_2^2 - t_1^2)/2 \quad (1.4.3)$$

(учли, что  $h = at^2/2$  и  $V = at$ ).

Подставив выражение (1.4.3) в формулу (1.4.1), найдем искомую среднюю мощность крана

$$N_{\text{ср}} = \frac{ma(g+a)(t_2+t_1)}{2\eta}$$

$$N_{\text{ср}} = 4 \cdot 10^3 \cdot 0,3(9,81 + 0,3) \cdot (2 + 4) / (2 \cdot 0,45) = 134,8 \text{ кВт}$$

**Ответ:**  $N_{\text{ср}} = 134,8 \text{ кВт}$ .

### 1.3 Задачи для самостоятельного решения

1. Кинематическое уравнение материальной точки имеет вид  $x=4t-2t^2+t^3$ . Найдите: 1) зависимость скорости и ускорения от времени; 2) вычислить среднюю скорость и среднее ускорение точки за промежуток времени от  $t_1=1$  с до  $t_2=4$  с.

2. Диск радиусом 0,4 м вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением  $\varphi=0,03t^2$ . Определите нормальное и тангенциальное ускорение диска через 2 с после начала движения.

3. Зависимость пройденного телом пути от времени имеет вид  $S=10+2t-0,1t^2+0,2t^3$ , м. Определите через сколько времени после начала движения ускорение тела будет равно  $0,5$  м/с<sup>2</sup>.

4. Частота вращения колеса при равнозамедленном движении за 2 мин уменьшилась от 400 до 120 мин<sup>-1</sup>. Определите: 1) угловое ускорение колеса; 2) число полных оборотов, сделанных за это время.

5. Тело вращается равноускоренно с начальной угловой скоростью  $1$  с<sup>-1</sup> и угловым ускорением  $1,5$  с<sup>-2</sup>. Сколько оборотов сделает тело за 4 с?

6. Зависимость пройденного телом пути от времени задана уравнением  $S=12+4t-2t^2+t^3$ , м. Найдите ускорение и среднюю скорость тела за первую, вторую и третью секунды движения.

7. Кинематические уравнения движения двух материальных точек имеют вид  $x_1=2t+3t^2-t^3$  и  $x_2=3t+2t^2+0,5t^3$ . Определите момент времени, для которого скорости этих точек будут равны.



## II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Изучение раздела следует начинать с проработки теоретического материала по информационным источникам: конспекта лекций, учебника (в качестве основного рекомендовано учебное пособие [1], в качестве вспомогательного рекомендовано учебное пособие [2]).

. Затем необходимо тщательно ознакомиться с содержанием данных методических указаний по физике.

Тема: «Молекулярная физика и термодинамика» Изучите [1] гл.8,9 , §§41-43, 50-59 и усвойте основные понятия – количество вещества, молярная масса, идеальный газ, тепловое равновесие, средняя квадратическая скорость, средняя длина свободного пробега молекулы, эффективный диаметр молекулы, диффузия, теплопроводность, внутреннее трение. динамическая вязкость, термодинамическая система, термодинамический процесс, внутренняя энергия, теплообмен, количество теплоты, теплоемкость, адиабатный процесс, КПД теплового двигателя, энтропия; основные законы – закон Бойля-Мариотта, закон Гей-Люссака, закон Шарля, уравнение Клапейрона, уравнение Менделеева-Клапейрона, основное уравнение МКТ, закон равномерного распределения энергии по степеням свободы, первое начало термодинамики, второе начало термодинамики.

Ознакомьтесь с решением типовых задач по данной теме (рекомендуются учебные пособия [3], [4] , [5],[6],[7],[8]) и после этого приступайте к выполнению заданий к.р. №1.

### 2.1 Основные формулы

Таблица 2 – Основные формулы раздела «Молекулярная физика и термодинамика»

Физическая величина, закон, уравнение	Формула
Уравнение Клапейрона-Менделеева	$pV = \nu RT$ где $p$ – давление газа, $V$ – его объем, $R$ – молярная газовая постоянная, $T$ – термодинамическая температура
Уравнение молекулярно-кинетической теории газов	$p = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon_{\text{пост}} \rangle =$ $= \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{\text{ке}} \rangle^2$ где $n$ – концентрация молекул, $\langle \varepsilon_{\text{пост}} \rangle$ - средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы, $m_0$ - масса молекулы,

	$\langle v_{\text{кв}} \rangle$ - средняя квадратичная скорость
<b>Средняя энергия молекулы</b>	$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT$ где $i$ – число степеней свободы, $k$ – постоянная Больцмана
<b>Внутренняя энергия идеального газа</b>	$U = \frac{i}{2} \nu RT$
<b>Скорости молекул:</b> <i>средняя квадратичная</i>  <i>средняя арифметическая</i>  <i>наиболее вероятная</i>	$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{3kT/m_0} = \sqrt{3RT/M}$ $\langle v \rangle = \sqrt{8kT/\pi m_0} = \sqrt{8RT/\pi M}$ $v_s = \sqrt{2kT/m_0} = \sqrt{2RT/M}$
<b>Молярная теплоемкость идеального газа</b> <i>изохорная</i>  <i>изобарная</i>	$C_v = \frac{i}{2} R$  $C_p = \frac{(i+2)}{2} R$
<b>Первое начало термодинамики</b>	$dQ = dU + dA$ $dU = \nu C_v dT$ $dA = p dV$
<b>Работа расширения газа при процессе</b> <i>изобарном</i> <i>изотермическом</i>  <i>адиабатном</i>	$A = p(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1)$ $A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{p_1}{p_2}$  $A = \nu C_v (T_1 - T_2) = \frac{\nu RT_1}{(\gamma - 1)} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] = \frac{p_1 V_1}{(\gamma - 1)} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]$ где $\gamma = C_p/C_v$ .
<b>Уравнение Пуассона</b>	$pV^\gamma = \text{const}$ $TV^{\gamma-1} = \text{const}$ $T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const}$

<b>Коэффициент полезного действия цикла Карно</b>	$\eta = \frac{Q - Q_0}{Q} = \frac{T - T_0}{T}$ <p>где <math>Q</math> и <math>T</math> – количество теплоты, полученное от нагревателя и его температура;  <math>Q_0</math> и <math>T_0</math> – количество теплоты, переданное холодильнику и его температура.</p>
<b>Изменение энтропии при переходе из состояния 1 в состояние 2</b>	$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}.$

## 2.2. Примеры решения задач

### Пример 2.1:

В сосуде вместимостью 0,4 л при температуре 400 К находится некоторый газ. На сколько понизится давление газа в сосуде, если из него из-за утечки выйдет  $N=5 \cdot 10^{19}$  молекул?

*Дано:*  $V = 0,4 \text{ л} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ ,  $T = 400 \text{ К}$ ,  $N = 5 \cdot 10^{19}$ .

*Найти:*  $\Delta p$

*Решение.* Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для состояния газа в начальный момент времени

$$p_1 V = m_1 R T / M, \quad (2.1.1)$$

и состояния газа после утечки некоторого его количества

$$p_2 V = m_2 R T / M, \quad (2.1.2)$$

где  $p_1$  - давление газа до утечки,  $p_2$  - давление газа после утечки,  $V$  - объем сосуда,  $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$  – молярная газовая постоянная,  $M$  – молярная масса газа,  $m_1$  – масса газа до утечки,  $m_2$  - масса газа после утечки.

Давление газа понизится на величину

$$\Delta p = p_1 - p_2, \quad (2.1.3)$$

Из уравнений (2.1.1) и (2.1.2) выразим  $p_1$  и  $p_2$  и подставим в (2.1.3)

$$\Delta p = m_1 R T / (M V) - m_2 R T / (M V) = (m_1 - m_2) R T / (M V) = \Delta m R T / (M V). \quad (2.1.4)$$

$\Delta m / M$  – количество молей вышедшего газа

$$\Delta m/M = N/N_A, \quad (2.1.5)$$

Подставим уравнение (2.1.5) в уравнение (2.1.4) и определим  $\Delta p = NRT/(N_A V) = 5 \cdot 10^{19} \cdot 8,31 \cdot 400 / (6,02 \cdot 10^{23} \cdot 4 \cdot 10^{-4}) = 690 \text{ Па}$ .

**Ответ:**  $\Delta p = 690 \text{ Па}$ .

**Пример 2.2:** 1) концентрацию молекул газа в сосуде; 2) число молекул газа в сосуде.

*Дано:*  $V = 5 \text{ л} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ;  $M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ ;  $m = 10 \text{ г} = 0,01 \text{ кг}$ .

*Найти:*  $n, N$ .

*Решение:* Запишем уравнение Менделеева - Клапейрона

$$pV = mRT/M \quad (2.2.1)$$

и уравнение состояния идеального газа

$$p = nkT, \quad (2.2.2)$$

поделим (2.2.1) на (2.2.2) и найдем концентрацию молекул кислорода в сосуде

$$n = mR/(kMV) = 0,01 \cdot 8,31 / (1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 32 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-3}) = 3,76 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$$

Концентрация молекул  $n = N/V$ ,

Откуда искомое число молекул газа в сосуде

$$N = nV = 3,76 \cdot 10^{25} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 1,88 \cdot 10^{23}.$$

**Ответ:**  $n = 3,76 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ ;  $N = 1,88 \cdot 10^{23}$

### Пример 2.3:

Некоторый газ массой 2 г и первоначальным удельным объемом  $v_1 = 0,825 \text{ м}^3/\text{кг}$ , находящийся при температуре 300 К и под давлением 0,5 МПа сжимают изотермически до давления 1,2 МПа. Определите: 1) какой это газ; 2) работу, затраченную на сжатие газа.

*Дано:*  $m = 2 \text{ г} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ ;  $v_1 = 0,825 \text{ м}^3/\text{кг}$ ;  $T = 300 \text{ К}$ ;  $p_1 = 0,5 \text{ МПа} = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ;  $p_2 = 1,2 \text{ МПа} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$

*Найти:*  $M; A$ .

*Решение:* Первоначальный удельный объем газа

$$v_1 = V_1/m, \quad (2.3.1)$$

где  $V_1$  – объем газа в начальном состоянии определим из уравнения Клапейрона – Менделеева

$$p_1 V_1 = mRT/M, \quad (2.3.2)$$

подставив уравнение (2.3.2) в формулу (2.3.1), найдем исходную молярную массу газа

$$M = \frac{RT}{p_1 v_1}$$

$$M = \frac{8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 300 \text{ К}}{5 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 0,825 \text{ м}^3/\text{кг}} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

Работа, затраченная на сжатие газа,

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p \, dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{M} RT p \frac{dV}{V} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (2.3.3)$$

(Учли уравнение  $pV = mRT/M$ ). Согласно закону Бойля-Мариотта,

$$p_1 V_1 = p_2 V_2,$$

откуда

$$V_2/V_1 = p_1/p_2 \quad (2.3.4)$$

Подставив выражение (2.3.4) в формулу (2.3.3), найдем искомую работу, затраченную на сжатие газа

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$A = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300 \text{ К} \cdot \ln \frac{5 \cdot 10^5}{12 \cdot 10^5} = 2181 \text{ Дж}$$

**Ответ:**  $M = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ ;  $A = 2181 \text{ Дж}$ .

#### Пример 2.4:

Гелий массой 200 г нагревают при постоянном давлении от 300 до 320 К. Определите количество теплоты, поглощенное газом, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.

*Дано:*  $m = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг}$ ;  $T_1 = 300 \text{ К}$ ;  $T_2 = 320 \text{ К}$

*Найти:*  $Q$ ;  $\Delta U$ ;  $A$ .

*Решение.* Количество теплоты, необходимое для нагревания газа при постоянном давлении,

$$Q = m c_p (T_2 - T_1) = (m/M) C_p (T_2 - T_1) \quad (2.4.1)$$

Здесь  $c_p$  и  $C_p = M c_p$  – удельная и молярная теплоемкости газа при постоянном давлении;  $M = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$  – молярная масса гелия.

Для всех двухатомных газов

$$C_p = 7/2 \cdot R; C_p = 3,5 \cdot 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) = 29 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$$

Изменение внутренней энергии газа находим по формуле

$$\Delta U = (m/M)C_v(T_2 - T_1), \quad (2.4.2)$$

где  $C_v$ - молярная теплоемкость газа при постоянном объеме

Для всех двухатомных газов

$$C_v = 5/2 \cdot R; C_v = 2,5 \cdot 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) = 20,8 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Работа расширения газа при изобарном процессе  $A = p\Delta V$ , где  $\Delta V = V_2 - V_1$  – изменение объема газа, которое можно найти из уравнения Клапейрона - Менделеева. При изобарном процессе

$$pV_1 = mRT_1/M \quad (2.4.3)$$

$$pV_2 = mRT_2/M \quad (2.4.4)$$

Почленным вычитанием выражения (2.4.4) из (2.4.3) находим

$$p(V_2 - V_1) = mR(T_2 - T_1)/M,$$

Следовательно,

$$A = mR(T_2 - T_1)/M. \quad (2.4.5)$$

Подставляя числовые значения в формулы (2.4.1), (2.4.2) и (2.4.5), получаем:

$$Q = \frac{0,2\text{кг}}{4 \cdot 10^{-3}\text{кг/моль}} \cdot 29 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (320\text{К} - 300\text{К}) = 29000 \text{ Дж};$$

$$\Delta U = \frac{0,2\text{кг}}{4 \cdot 10^{-3}\text{кг/моль}} \cdot 20,8 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (320\text{К} - 300\text{К}) = 20800 \text{ Дж};$$

$$A = \frac{0,2\text{кг}}{4 \cdot 10^{-3}\text{кг/моль}} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (320\text{К} - 300\text{К}) = 8310 \text{ Дж}.$$

**Ответ:**  $Q = 29000 \text{ Дж}; \Delta U = 20800 \text{ Дж}; A = 8310 \text{ Дж}.$

### Пример 2.5:

Определите изменение энтропии при превращении 10г льда при  $-10^\circ\text{C}$  в воду при  $20^\circ\text{C}$ .

Дано:  $m = 10 \text{ г} = 0,01\text{кг}; t_1 = -10^\circ\text{C} (T_1 = 263 \text{ К}); t_2 = 0^\circ\text{C} (T_2 = 273 \text{ К}); t_3 = 20^\circ\text{C} (T_3 = 293 \text{ К}); c_l = 2,1 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); \lambda = 3,35 \cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}; c_w = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$

Найти:  $\Delta S$ .

Решение: Общее изменение энтропии складывается из ее изменений в следующих процессах : 1) нагревание льда данной массы от  $T_1$  до  $T_2 (\Delta S_1)$ ; 2) плавление льда данной массы при температуре  $T_2 (\Delta S_2)$ ; 3) нагревание воды данной массы от  $T_2$  до  $T_3 (\Delta S_3)$ . Таким образом

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3. \quad (2.5.1)$$

Изменение энтропии выражается общей формулой:

$$\Delta S = \int \frac{dQ}{T}. \quad (2.5.2)$$

При бесконечно малом изменении температуры  $dT$  нагреваемого тела затрачивается количество теплоты  $dQ = mcdT$ , где  $m$  – масса тела;  $c$  – его удельная теплоемкость. Подставив  $dQ$  в выражение (2.5.2), найдем формулы для вычисления

изменения энтропии при нагревании льда (процесс 1) и воды (процесс 3)

$$\Delta S_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mc_n dT}{T} = mc_n \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (2.5.3)$$

$$\Delta S_3 = \int_{T_2}^{T_3} \frac{mc_w dT}{T} = mc_w \ln \frac{T_3}{T_2} \quad (2.5.4)$$

Плавление льда происходит при постоянной температуре  $T_2$ , поэтому в формуле (2)  $T_2$  можно вынести за знак интеграла:

$$\Delta S_2 = \frac{1}{T} \int dQ = \frac{Q_1}{T_2}, \quad (2.5.5)$$

где  $Q_1$  – количество теплоты, переданное при плавлении льда,

$Q_1 = \lambda m$  ( $\lambda$  – удельная теплота плавления). Подставив в равенство (2.5.5)  $Q_1$ , найдем формулу для вычисления изменения энтропии при плавлении льда (процесс 2):

$$\Delta S_2 = \frac{\lambda m}{T_2} \quad (2.5.6)$$

Подставив выражения (2.5.3), (2.5.6), (2.5.4) в формулу (2.5.1), найдем искомое общее изменение энтропии:

$$\begin{aligned} \Delta S &= m \left( c_n \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{\lambda}{T_2} + c_w \ln \frac{T_3}{T_2} \right). \\ \Delta S &= 0,01 \text{ кг} \left( 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot \ln \frac{273 \text{ К}}{263 \text{ К}} + \frac{3,35 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}}{273 \text{ К}} + 4,19 \right. \\ &\quad \left. \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \ln \frac{293 \text{ К}}{273 \text{ К}} \right) = 126,7 \text{ Дж/К}. \end{aligned}$$

**Ответ:**  $\Delta S = 126,7 \text{ Дж/кг} Q = 29000 \text{ Дж}; \Delta U = 20800 \text{ Дж}; A = 2181 \text{ Дж/К}.$

### 2.3. Задачи для самостоятельного решения

1. Азот массой 1 кг находится под давлением 1,5 МПа и температуре 300 К. Вследствие изобарного нагревания азот занял объем 10 л. Определите: 1) объем газа до расширения; 2) температуру газа после расширения; 3) плотность газа до и после расширения.

2. Определите среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул, содержащихся в 2 молях и в 3 кг азота при температуре 350 К.

3. В сосуде вместимостью 0,6 л при температуре  $T = 400$  К находится некоторый газ. На сколько понизится давление газа в сосуде, если из него из-за утечки выйдет  $N = 2 \cdot 10^{20}$  молекул?

4. Определите: 1) наиболее вероятную; 2) среднюю арифметическую; 3) среднюю квадратичную скорость молекул кислорода при  $27^\circ\text{C}$ .

5. Определите изменение энтропии при превращении 2 кг льда при  $-2^\circ\text{C}$  в воду при  $50^\circ\text{C}$ .

6. Азот объемом 4,5 л находится под давлением 4,8 МПа. Определите, какое количество теплоты необходимо сообщить газу, чтобы: 1) увеличить его объем в 1,5 раза в результате изобарного процесса; 2) увеличить его давление в три раза в результате изохорного процесса.

7. Азот массой 300 г нагревают при постоянном давлении от 300 до 500 К. Определите количество теплоты, поглощенное газом, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.



### III. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

Изучение раздела следует начинать с проработки теоретического материала по информационным источникам: конспекта лекций, учебника (в качестве основного рекомендовано учебное пособие [1], в качестве вспомогательного рекомендовано учебное пособие [2]).

Затем необходимо тщательно ознакомиться с содержанием данных методических указаний по физике.

Тема: «Основы электродинамики» Изучите [1] гл.11-14 ,15 §§77-86,96-101,109-115,122-126,130 и усвойте основные понятия – точечный заряд, электростатическое поле, напряженность электростатического поля, циркуляция вектора напряженности, потенциал, электроемкость, конденсаторы, энергия электростатического поля, разность потенциалов, электрический ток, плотность тока, магнитное поле, магнитная индукция; основные законы- закон сохранения заряда, закон Кулона, теорема Гаусса, закон Ома, закон Био-Савара-Лапласа.

Ознакомьтесь с решением типовых задач по данной теме (рекомендуются учебные пособия [3], [4] , [5],[6],[7],[8]) и после этого приступайте к выполнению заданий к.р. №1.

#### 3.1 Основные формулы

Таблица 3 – Основные формулы раздела «Электричество и магнетизм»

<b>Физическая величина, уравнение, закон</b>	<b>Формула</b>
<b>Закон Кулона</b>	$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$ <p>где <math>q_1</math> и <math>q_2</math> - величины точечных зарядов,  <math>\epsilon_0</math> - электрическая постоянная,  <math>\epsilon</math> – диэлектрическая проницаемость среды,  <math>r</math> – расстояние между зарядами.</p>
<b>Напряженность электрического поля</b>	$E = \frac{F}{q}$
<b>Напряженность поля:</b> <i>точечного заряда</i>	$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$
<i>бесконечно длинной заряженной нити</i>	$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 \epsilon r}$
<i>равномерно заряженной бесконечной плоскости между двумя разноименно</i>	$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \epsilon}$

<p>заряженными бесконечными плоскостями</p>	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$ <p>где <math>\tau</math> – линейная плотность заряда,  <math>\sigma</math> – поверхностная плотность заряда,  <math>r</math> – расстояние до источника поля</p>
<p><b>Работа перемещения заряда в электростатическом поле</b></p>	$A = q \int_1^2 E_l dl = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ <p>где <math>\varphi_1</math> и <math>\varphi_2</math> - потенциалы начальной и конечной точек</p>
<p><b>Потенциал поля точечного заряда</b></p>	$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r}$
<p><b>Связь между потенциалом и напряженностью</b></p>	$E_l = -\frac{d\varphi}{dl}$
<p><b>Сила притяжения между двумя разноименно заряженными обкладками конденсатора</b></p>	$F = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2 S}{2} = \frac{q^2}{2\epsilon_0 \epsilon S}$ <p>где <math>S</math> – площадь пластины</p>
<p><b>Емкость</b>  уединенного проводника</p> <p>плоского конденсатора</p> <p>слоистого конденсатора</p>	$C = \frac{q}{\varphi}$ $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$ $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{\sum d_i / \epsilon_i}$ <p>где <math>d</math> – расстояние между пластинами конденсатора,  <math>d_i</math> – толщина <math>i</math>-го слоя диэлектрика,  <math>\epsilon_i</math> – его диэлектрическая проницаемость</p>
<p><b>Емкость батареи конденсаторов, соединенных:</b>  параллельно</p> <p>последовательно</p>	$C = \sum C_i$ $\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$
<p><b>Энергия поля:</b>  заряженного проводника</p>	$W_3 = \frac{C\varphi^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{q\varphi}{2}$

заряженного конденсатора	$W_3 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 V$ <p>где <math>V</math> – объем конденсатора</p>
<b>Объемная плотность энергии электрического поля</b>	$W_3 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{ED}{2}$
<b>Сила тока</b>	$I = \frac{dq}{dt}$
<b>Закон Джоуля – Ленца:</b> в дифференциальной форме	$\frac{dW}{dt} = jE = \gamma E^2 = \frac{E^2}{\rho}$
в интегральной форме	$dQ = IUdt = \frac{U^2}{R} dt = I^2 R dt$
<b>Сопротивление однородного проводника</b>	$R = \frac{\rho l}{S}$ <p>где <math>l</math> – длина проводника, <math>S</math> – площадь его поперечного сечения</p>
<b>Зависимость удельного сопротивления от температуры</b>	$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ <p>где <math>\alpha</math> – температурный коэффициент сопротивления, <math>t</math> – температура по шкале Цельсия</p>
<b>Сила Лоренца</b>	$F = qvB$ <p>где <math>v</math> – скорость заряда <math>q</math>, <math>B</math> – индукция магнитного поля</p>
<b>Сила Ампера</b>	$dF = IdlB$ <p>где <math>I</math> – сила тока в проводнике, <math>dl</math> – элемент длины проводника</p>
<b>Магнитный момент контура с током</b>	$p_m = IS$ <p>где <math>S</math> – площадь контура</p>
<b>Механический момент, действующий на контур с током в магнитном поле</b>	$M = p_m B$
<b>Закон Био-Савара-Лапласа</b>	$dB = \frac{\mu_0 \mu I dl r}{4\pi r^3}$ <p>где <math>\mu_0</math> – магнитная постоянная, <math>\mu</math> – магнитная проницаемость среды</p>
<b>Магнитная индукция:</b> в центре кругового тока	$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}$
поля бесконечно длинного прямого тока	$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r}$

<p>поля, созданного отрезком проводника с током</p> <p>поля бесконечно длинного соленоида</p>	$B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi r} (\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2)$ $B = \mu_0 \mu n I$ <p>где <math>R</math> – радиус кругового тока,  <math>r</math> – кратчайшее расстояние до оси проводника,  <math>n</math> – число витков на единицу длины соленоида,  <math>\alpha_1</math> и <math>\alpha_2</math> – углы между отрезком проводника и линией соединяющей концы отрезка с точкой поля</p>
<p>Сила взаимодействия двух прямолинейных бесконечно длинных параллельных токов на единицу их длины</p>	$F = \frac{\mu_0 \mu I_1 I_2}{2\pi r}$ <p>где <math>r</math> – расстояние между токами <math>I_1</math> и <math>I_2</math></p>
<p>Работа по перемещению контура с током в магнитном поле</p>	$A = I \Delta\Phi,$ <p>где <math>\Phi</math> – магнитный поток через поверхность контура</p>
<p>Магнитный поток однородного магнитного поля через площадку <math>S</math></p>	$\Phi = BS \cos \alpha,$ <p>где <math>\alpha</math> – угол между вектором <math>B</math> и нормалью к площадке</p>
<p>Закон электромагнитной индукции</p>	$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt}$ <p>где <math>N</math> – число витков контура</p>
<p>Потокоцепление контура с током</p>	$\psi = LI,$ <p>где <math>L</math> – индуктивность контура</p>
<p>Электродвижущая сила самоиндукции</p>	$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$
<p>Индуктивность соленоида</p>	$L = \mu_0 \mu n^2 V,$ <p>где <math>V</math> – объем соленоида,  <math>n</math> – число витков на единицу длины соленоида</p>
<p>Энергия магнитного поля</p>	$W_m = \frac{LI^2}{2}$
<p>Объемная плотность энергии магнитного поля</p>	$W_m = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu_0 \mu} = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}$

### 3.2 Примеры решения задач

#### Пример 3.1:

Три точечных отрицательных заряда  $q = -2$  нКл каждый находятся в вершинах равностороннего треугольника. Определите какой заряд  $q_0$  следует поместить в центре треугольника, чтобы система находилась в равновесии.

Дано:  $\alpha = 60^\circ$ ;  $q = -2$  нКл  $= -2 \cdot 10^{-9}$  Кл.

Найти:  $q_0$

Решение. Рассмотрим силы, действующие на заряд  $q$  в одной из вершин треугольника (рисунок 1) со стороны зарядов  $q$ , находящихся в двух других вершинах треугольника.

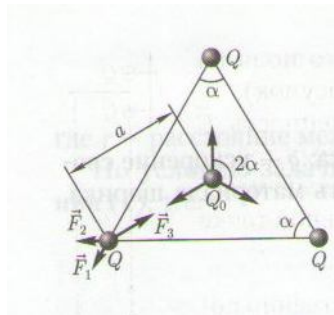


Рисунок 1 – Силы, действующие на заряд

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{r^2} \text{ и } F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{r^2}, \quad (3.1.1)$$

Эти силы равны  $F_1 = F_2$  и направлены под углом  $\alpha = 60^\circ$  друг к другу.

Чтобы рассматриваемый заряд  $q$  находился в равновесии, в центр треугольника следует поместить положительный заряд  $q_0$ , действующий на заряд  $q$ . условие равновесия рассматриваемого заряда  $q$  имеет вид:

$$F_1 + F_2 + F_3 = 0,$$

откуда следует (при условии  $F_1 = F_2$ ), что

$$F_3 = 2F_1 \cos \frac{\alpha}{2}$$

или, учитывая выражение (3.1.1),

$$F_3 = \frac{2q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos \frac{\alpha}{2}.$$

Поскольку

$$F_3 = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 a^2},$$

можно записать

$$\frac{2q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon_0 a^2}.$$

Учитывая, что

$$a = \frac{r}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}$$

( см. рисунок 1), получаем

$$\frac{2q^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos \frac{\alpha}{2} = \frac{4qq_0 \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

откуда искомый заряд

$$q_0 = \frac{q}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}$$

$$q_0 = \frac{2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}}{2 \cos \frac{60}{2}} = 1,16 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 1,16 \text{ нКл}.$$

Поскольку система находится в равновесии, заряды, находящиеся в двух других вершинах треугольника, будут также в равновесии. На заряд  $q_0$ , помещенный в центр треугольника, действуют три одинаковые силы, направленные под углами  $2\alpha$  (см. рисунок 1) и равные по величине. Равнодействующая этих трех сил равна нулю, поэтому заряд  $q_0$  также будет находиться в равновесии.

**Ответ:**  $q_0 = 1,16 \text{ нКл}$ .

### Пример 3.2:

Заряд 3 нКл притянулся к бесконечной плоскости, равномерно заряженной с поверхностной плотностью  $\sigma = -0,4 \text{ мкКл/м}^2$ . На каком расстоянии от плоскости находился заряд, если работа сил поля по его перемещению равна 2 мкДж?

*Дано:*  $q = 3 \text{ нКл} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ ;  $\sigma = -0,4 \text{ мкКл/м}^2$ ;  $A = 2 \text{ мкДж}$ ;  $r_2 = 0$ .

*Найти:*  $r_1$ .

*Решение:* Работа силы  $F$  на элементарном перемещении  $dr$  вдоль линии напряженности  $dA = F dr$ , причем сила

$$F = qE. \quad (3.2.1)$$

Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечной плоскостью с поверхностной плотностью  $\sigma$  равна

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad (3.2.2)$$

где  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$  – электрическая постоянная.

Работа сил поля по перемещению заряда  $q$  с расстояния  $r_1$  до расстояния  $r_2$

$$A = \int_{r_1}^{r_2} F dr = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} dr = \frac{q\sigma}{2\varepsilon_0} (r_2 - r_1) \quad (3.2.3)$$

учли формулы (3.2.1) и (3.2.2).

С учетом того, что  $r_2 = 0$  выражение (3.2.3) принимает вид

$$A = -\frac{q\sigma r_1}{2\varepsilon_0}$$

Откуда

$$r_1 = -\frac{2A\varepsilon_0}{q\sigma}$$

$$r_1 = -\frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}}{3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \cdot (-0,4 \cdot \frac{10^{-6} \text{ Кл}}{\text{м}^2})} = 5,9 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 5,9 \text{ см.}$$

**Ответ:**  $r_1 = 5,9 \text{ см.}$

### Пример 3.3:

Батарея из трех последовательно соединенных конденсаторов  $C_1 = 2 \text{ мкФ}$ ,  $C_2 = 3 \text{ мкФ}$ ,  $C_3 = 5 \text{ мкФ}$  подсоединены к источнику ЭДС. Заряд батареи конденсаторов  $60 \text{ мкКл}$ . Определите: 1) напряжения на каждом конденсаторе; 2) ЭДС источника; 3) емкость батареи конденсаторов

*Дано:*  $C_1 = 2 \text{ мкФ} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ мкФ}$ ;  $C_2 = 3 \text{ мкФ} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ мкФ}$ ;  $C_3 = 5 \text{ мкФ} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ мкФ}$ ;  $q = 60 \text{ мкКл} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$ .

*Найти:*  $U_1$ ;  $U_2$ ;  $U_3$ ;  $\varepsilon$ ;  $C$ .

*Решение:* При последовательном соединении конденсаторов заряды всех обкладок равны по модулю, поэтому

$$q_1 = q_2 = q_3 = q.$$

Напряжения на конденсаторах

$$U_1 = \frac{q}{C_1}; U_2 = \frac{q}{C_2}; U_3 = \frac{q}{C_3}.$$

$$U_1 = \frac{6 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}}{2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 30 \text{ В}; U_2 = \frac{6 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}}{3 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 20 \text{ В}; U_3 = \frac{6 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}}{5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 12 \text{ В}.$$

ЭДС источника равна сумме напряжений каждого из последовательно соединенных конденсаторов:  $\varepsilon = U_1 + U_2 + U_3$ .

$$\varepsilon = 30 \text{ В} + 20 \text{ В} + 12 \text{ В} = 62 \text{ В}.$$

При последовательном соединении суммируются величины, обратные емкостям каждого из конденсаторов:

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

откуда искомая емкость батареи конденсаторов

$$C = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_2 C_3 + C_1 C_3}.$$

$$C = \frac{2 \cdot 10^{-6} \Phi \cdot 3 \cdot 10^{-6} \Phi \cdot 5 \cdot 10^{-6} \Phi}{2 \cdot 10^{-6} \Phi \cdot 3 \cdot 10^{-6} \Phi + 3 \cdot 10^{-6} \Phi \cdot 5 \cdot 10^{-6} \Phi + 2 \cdot 10^{-6} \Phi \cdot 5 \cdot 10^{-6} \Phi} = 0,968 \cdot 10^{-6} \Phi.$$

**Ответ:**  $U_1=30B$  ;  $U_2=20B$ ;  $U_3=12B$ ;  $\varepsilon=60B$  ;  $C = 0,968 \text{ мкФ}$ .

### Пример 3.4:

Сила тока в резисторе линейно возрастает за 3 с от 0 до 4 А. Сопротивление резистора 6 Ом. Определите количество теплоты, выделившееся в резисторе за первые 2 с.

*Дано:*  $t_0 = 0$ ;  $t_1 = 3\text{с}$ ;  $I_0 = 0$ ;  $I_1 = 4 \text{ А}$ ;  $t_2 = 2 \text{ с}$ .

*Найти:*  $Q$ .

*Решение:* По закону Джоуля-Ленца

$$dQ = I^2 R dt \quad (3.4.1)$$

Так как сила тока является функцией времени, то

$$I = kt \quad (3.4.2)$$

Где  $k$  – коэффициент пропорциональности, численно равный приращению тока в единицу времени

$$k = \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$k = \frac{4\text{А}}{3\text{с}} = 1,33\text{А/с}$$

Следовательно

$$dQ = k^2 t^2 R dt$$

За первые две секунды выделится количество теплоты

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} k^2 t^2 R dt = k^2 R \int_{t_1}^{t_2} t^2 dt = \frac{k^2 R}{3} (t_2^3 - t_1^3)$$

$$Q = 1,77 \text{ А}^2/\text{с}^2 \cdot 6 \text{ Ом} \cdot 8\text{с}^3/3 = 28,32 \text{ Дж}.$$

**Ответ:**  $Q = 28,32 \text{ Дж}$ .



### Пример 3.5.

Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией 0,2 Тл по окружности. Определите угловую скорость вращения электрона.

Дано:  $B = 0,2 \text{ Тл}$ .

Найти:  $\omega$ .

Решение: На движущуюся в магнитном поле заряженную частицу (в нашем случае электрон) действует сила Лоренца  $F_L = qvB \sin\alpha$ , где  $q$  – заряд частицы (по условию задачи  $q=e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ );  $\alpha$  – угол между векторами  $v$  и  $B$  (по условию задачи  $\alpha = 90^\circ$ ), т.е. сила Лоренца постоянна и равна

$$F_L = qvB. \quad (3.5.1)$$

Постоянная сила, перпендикулярная скорости, вызывает движение по окружности. Она сообщает заряженной частице нормальное ускорение

$$a_n = \frac{v^2}{R}, \quad (3.5.2)$$

где  $R$  – радиус окружности. По второму закону Ньютона

$$F_L = ma_n, \quad (3.5.3)$$

где  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$  – масса электрона.

Приравняем (3.5.1) и (3.5.3) с учетом (3.5.2)

$$\frac{mV^2}{R} = eVB$$

Откуда

$$V = \frac{eRB}{m} \quad (3.5.4)$$

Период обращения электрона с учетом (3.5.4)

$$T = \frac{2\pi R}{V} = \frac{2\pi m}{eB}$$

Угловая скорость вращения электрона

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{eB}{m}$$

$$\omega = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,2 \text{ Тл}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}} = 3,52 \cdot 10^{10} \text{ рад/с}$$

Ответ:  $\omega = 3,52 \cdot 10^{10} \text{ рад/с}$ .

**Пример 3.6:**

Однослойная длинная катушка содержит 400 витков, плотно прилегающих друг к другу. Определите индуктивность катушки, если диаметр проволоки 1мм (изоляция ничтожной толщины) и она намотана на картонный цилиндр радиусом 1,4 см.

Дано:  $N = 400$ ;  $d = 1\text{мм} = 10^{-3}\text{м}$ ;  $r = 1,4\text{ см} = 1,4 \cdot 10^{-2}\text{м}$ .

Найти:  $L$ .

Решение: Индуктивность катушки

$$L = \Phi/I \quad (3.6.1),$$

где  $\Phi$  – полный магнитный поток, сцепленный со всеми витками катушки;  $I$  – сила тока в катушке.

Полный магнитный поток

$$\Phi = NBS, \quad (3.6.2)$$

где  $N$  – число витков катушки;  $B$  – магнитная индукция;  $S$  – площадь поперечного сечения катушки.

Магнитная индукция в катушке без сердечника с учетом выражения (3.6.2)

$$B = \mu_0 \frac{NI}{l},$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  – магнитная постоянная,  $l$  – длина катушки.

Длина катушки  $l = Nd$ , где  $d$  – диаметр проволоки, площадь поперечного сечения катушки  $S = \pi r^2$ , после подстановки записанных выражений в формулу (3.6.1)

получим искомую индуктивность катушки:

$$L = \frac{\mu_0 N \pi r^2}{d};$$

$$L = \frac{12,56 \cdot \frac{10^{-7} \text{ Гн}}{\text{м}} \cdot 400 \cdot 3,14 \cdot (1,4 \cdot 10^{-2} \text{ м})^2}{10^{-3} \text{ м}} = 309 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}.$$

**Ответ:**  $L = 0,31 \text{ мГн}$ .

### 3.3 Задачи для самостоятельного решения

1. Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными плоскостями в вакууме с поверхностными плотностями  $\sigma_1 = 0,9 \text{ мкКл/м}^2$  и  $\sigma_2 = -0,2 \text{ мкКл/м}^2$ . Определите напряженность электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей.

2. Найдите напряженность электрического поля в точке, лежащей посередине между точечными зарядами  $q_1 = 5 \text{ нКл}$  и  $q_2 = -2 \text{ нКл}$ . Расстояние между зарядами 30 см, заряды находятся в парафине.

3. В вершинах квадрата со стороной 0,12 м расположены заряды одинаковой величины. В случае, когда два соседних заряда положительные, а два других – отрицательные, напряженность поля в центре квадрата равна 100 В/м. Определите заряд.

4. Определите работу внешних сил по перемещению заряда 2,5 нКл вдоль линии напряженности с расстояния 15 см до расстояния 10 см, если электростатическое поле создается бесконечной, равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда  $3 \text{ мкКл/м}^2$ .

5. Батарея из трех последовательно соединенных конденсаторов  $C_1 = 1,5 \text{ мкФ}$ ,  $C_2 = 2,5 \text{ мкФ}$ ,  $C_3 = 3,5 \text{ мкФ}$  подсоединены к источнику ЭДС. Заряд батареи конденсаторов 30 мкКл. Определите: 1) напряжения на каждом конденсаторе; 2) ЭДС источника; 3) емкость батареи конденсаторов.

6. Прямолинейная рамка со сторонами 20 и 16 см, состоящая из 50 витков, помещена во внешнее однородное магнитное поле с индукцией 0,8 Тл. Нормаль к рамке составляет с направлением магнитного поля угол  $\alpha = 60^\circ$ . Определите вращающий момент сил, действующих на рамку, если по ней течет ток  $I = 1,8 \text{ А}$ .

7. По двум бесконечно длинным прямолинейным параллельным проводникам, расстояние между которыми 14 см, в одном направлении текут токи 2 и 4 А. Определите расстояние от проводника с меньшим током до геометрического места точек, в котором напряженность магнитного поля равна нулю.

8. Однослойная длинная катушка содержит 200 витков, плотно прилегающих друг к другу. Определите индуктивность катушки, если диаметр проволоки 0,6 мм (изоляция ничтожной толщины) и она намотана на картонный цилиндр радиусом 1,4 см.

9. В однородном магнитном поле помещена прямоугольная рамка с подвижной стороной (ее длина равна 20 см), которая перемещается перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью 6 м/с. Определите индукцию магнитного поля, если возникающая в рамке ЭДС индукции  $\mathcal{E} = 0,4 \text{ В}$ .

10. Катушка из 400 витков площадью  $40 \text{ см}^2$  вращается с частотой 4,5 Гц в однородном магнитном поле индукцией 0,4 Тл. Ось вращения перпендикулярна оси катушки и линиям индукции поля. Определите максимальную электродвижущую силу индукции в катушке.

11. Перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля индукцией 0,4 Тл движется проводник длиной 22 см со скоростью 7 м/с, перпендикулярной проводнику. Определите ЭДС, индуцируемую в проводнике.

#### IV. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

1. Зависимость пройденного телом пути от времени имеет вид  $S=2t-2t^2+3t^3$ , м. Найдите 1) зависимость скорости и ускорения от времени; 2) расстояние пройденное телом, скорость и ускорение тела через 3 с после начала движения.
2. Точка движется по окружности радиусом 0,8 м. Уравнение движения точки  $\varphi = 0,4t + 0,1t^3$ , рад. Определите нормальное и тангенциальное ускорения точки в момент времени 2 с.
3. Кинематическое уравнение материальной точки имеет вид  $x=3t-2t^2+2t^3$ . Найдите 1) зависимость скорости и ускорения от времени; 2) вычислить среднюю скорость и среднее ускорение точки за промежуток времени от  $t_1=1$  с до  $t_2=4$  с.
4. Диск радиусом 1,2 м вращается вокруг неподвижной оси так, что зависимость угла поворота радиуса диска от времени задается уравнением  $\varphi = 0,05t^2$ . Определите нормальное и тангенциальное ускорение диска через 4 с после начала движения.
5. Зависимость пройденного телом пути от времени имеет вид  $S=5+2t-0,2t^2+0,1t^3$ , м. Определите через сколько времени после начала движения ускорение тела будет равно  $1 \text{ м/с}^2$ .
6. Тело вращается равноускоренно с начальной угловой скоростью  $2 \text{ с}^{-1}$  и угловым ускорением  $2 \text{ с}^{-2}$ . Сколько оборотов сделает тело за 8 с?
7. Зависимость пройденного телом пути от времени задана уравнением  $S=6+3t-2t^2+t^3$ , м. Найдите ускорение и среднюю скорость тела за первую, вторую и третью секунды движения.
8. Мотоцикл движется по закруглению шоссе, имеющему радиус кривизны 80 м. Закон движения мотоцикла выражается уравнением  $S=8t-0,2t^2$ . Найдите скорость мотоцикла, его тангенциальное, нормальное и полное ускорение в конце второй секунды.
9. Кинематические уравнения движения двух материальных точек имеют вид  $x_1=3t+4t^2-2t^3$  и  $x_2=5t+2t^2+1t^3$ . Определите момент времени, для которого скорости этих точек будут равны.
10. Материальная точка движется по окружности, радиус которой 16 м. Зависимость пройденного точкой пути от времени задана уравнением  $S=10t+2t^2+t^3$ , м. Определите пройденный путь, угловую скорость и угловое ускорение точки в конце второй секунды.
11. Поезд массой 500 т после прекращения тяги паровоза под действием силы трения  $F_{\text{тр}}=98 \text{ кН}$  останавливается через 1 мин. С какой скоростью шел поезд?
12. Маховик, имеющий форму диска массой 8 кг и радиусом 0,3 м, был раскручен до частоты  $90 \text{ мин}^{-1}$ . Под действием силы трения диск остановился через 12 с. Найдите момент сил трения, считая его постоянным.
13. Под действием силы 20 Н тело движется прямолинейно так, что зависимость пройденного телом пути от времени дается уравнением  $S=5-2t+1,5t^2$ , м. Найдите массу тела.

14. По касательной к шкиву маховика в виде диска диаметром 60 см массой 30 кг приложена сила 1,2 кН. Определите угловое ускорение и частоту вращения маховика через 10 с после начала действия силы.

15. Вагон массой 25 т движется равнозамедленно, имея начальную скорость 72 км/ч и ускорение  $0,6 \text{ м/с}^2$ . Какая сила торможения действует на вагон? Через какое время вагон остановится? Какое расстояние пройдет вагон до остановки?

16. Момент силы, действующей на тело, 29,4 Н·м. Через 5 с после начала вращения тело достигло угловой скорости  $8 \text{ с}^{-1}$ . Найдите момент инерции тела.

17. Тело массой 1 кг движется прямолинейно, причем зависимость пройденного телом пути от времени задана уравнением  $S=10-2t+5t^2-t^3$ , м. Найдите силу, действующую на тело в конце второй секунды движения.

18. Стержень вращается вокруг оси, проходящей через его середину, согласно уравнению  $\varphi=2t+0,1t^3$ , рад. Определите вращающий момент, действующий на стержень через время 3 с после начала вращения, если момент инерции стержня  $0,062 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

19. Найдите закон движения тела массой 4 кг под действием постоянной силы 6 Н, если в момент  $t=0$  начальная координата  $x=0$  и  $v_0=4 \text{ м/с}$ .

20. Маховик, момент инерции которого  $64 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , вращается с угловой скоростью 31,4 рад/с. Найдите момент сил торможения, под действием которого маховик останавливается через 20 с. Маховик считать однородным диском.

21. Тело массой 4 кг падает с высоты 30 м. Определите потенциальную и кинетическую энергию тела в точке, находящейся от поверхности Земли на высоте 10 м.

22. Масса снаряда 20 кг, масса ствола орудия 600 кг. При выстреле снаряд получает кинетическую энергию  $2 \cdot 10^5$  Дж. Какую кинетическую энергию получает ствол орудия вследствие отдачи?

23. На рельсах стоит платформа массой 12 т. На платформе закреплено орудие массой 5 т, из которого производится выстрел вдоль рельсов. Масса снаряда 100 кг; его начальная скорость относительно орудия 500 м/с. Найдите скорость платформы в первый момент после выстрела, если платформа двигалась со скоростью 9 км/ч и выстрел был произведен в направлении ее движения.

24. Тело массой 0,5 кг под действием постоянной силы движется прямолинейно. Зависимость пути, пройденного телом, от времени задана уравнением  $S=1+4t+2t^2$ . Определите работу силы за 5 с с начала ее действия.

25. Полый цилиндр массой 1 кг катится по горизонтальной поверхности со скоростью 5 м/с. Определите силу, которую необходимо приложить к цилиндру, чтобы остановить его на пути 1 м.

26. Вагон массой 30 т, двигаясь равнозамедленно с начальной скоростью 54 км/ч, под действием силы трения 6 кН через некоторое время останавливается. Найдите работу сил трения и расстояние, которое вагон пройдет до остановки.

27. Подъемный кран поднимает груз массой 2 т, с ускорением  $0,4 \text{ м/с}^2$ . Определите среднюю мощность крана за время от 4 с до 8 с, если коэффициент полезного действия крана 40%.

28. Найдите работу, которую надо совершить, чтобы увеличить скорость движения тела массой 1 т от 2 м/с до 6 м/с на пути 15 м. На всем пути действует сила трения 2 Н.

29. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 30 м/с. Определите на какой высоте кинетическая энергия тела будет равна его потенциальной энергии, сопротивление воздуха не учитывать.

30. Сплошной шар скатывается по наклонной плоскости, длина которой 2 м и угол наклона  $45^\circ$ . Определите скорость шара в конце наклонной плоскости.

31. В закрытом сосуде вместимостью 5 л находятся кислород массой 12 г и гелий массой 8 г. Определите: 1) давление; 2) молярную массу газовой смеси в сосуде. Если температура смеси  $t = 25^\circ\text{C}$ .

32. Определите плотность насыщенного водяного пара в воздухе при температуре 350 К. Давление насыщенного водяного пара при этой температуре равно 4,2 кПа.

33. В баллоне вместимостью 20 л находится кислород под давлением 2 МПа при температуре  $t_1 = 47^\circ\text{C}$ . После того как из баллона выпустили кислород массой 16 г, температура газа стала равной  $t_2 = 37^\circ\text{C}$ . Определите давление кислорода, оставшегося в баллоне.

34. Азот массой 10 г находится под давлением 0,15 МПа и температуре 270 К. Вследствие изобарного нагревания азот занял объем 12 л. Определите: 1) объем газа до расширения; 2) температуру газа после расширения; 3) плотность газа до и после расширения.

35. Определите среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул, содержащихся в 1 моле и в 2 кг кислорода при температуре 500 К.

36. В сосуде вместимостью 2 л находится гелий массой 4 г. Определите: 1) концентрацию молекул газа в сосуде; 2) число молекул газа в сосуде.

37. Средняя квадратичная скорость молекул некоторого газа равна 500 м/с, давление газа - 50 кПа. Найдите плотность газа при этих условиях.

38. При температуре  $57^\circ\text{C}$  и давлении  $18 \cdot 10^5$  Па плотность смеси водорода и азота  $10 \text{ г/дм}^3$ . Определите молярную массу смеси.

39. В сосуде вместимостью 0,5 л при температуре  $T = 300 \text{ К}$  находится некоторый газ. На сколько понизится давление газа в сосуде, если из него из-за утечки выйдет  $N = 10^{20}$  молекул?

40. Определите: 1) наиболее вероятную; 2) среднюю арифметическую; 3) среднюю квадратичную скорость молекул водорода при  $77^\circ\text{C}$ .

41. При изохорном нагревании кислорода объемом 5 л давление газа изменилось на 0,2 МПа. Определите количество теплоты, сообщенное газу.

42. Определите изменение энтропии при превращении 10 г льда при  $-10^\circ\text{C}$  в воду при  $10^\circ\text{C}$ .

43. Азот объемом 3 л находится под давлением 5 МПа. Определите, какое количество теплоты необходимо сообщить газу, чтобы: 1) увеличить его объем в два раза в результате изобарного процесса; 2) увеличить его давление вдвое в результате изохорного процесса.

44. Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного и вращательного движения молекул, содержащихся в 1 кг азота при температуре 350 К.

45. Идеальный газ совершает цикл Карно. Газ получил от нагревателя количество теплоты 6 кДж и совершил работу 2,2 кДж. Определите: 1) термический КПД цикла; 2) отношение температур нагревателя и холодильника.

46. Кислород массой 2 кг находится при температуре 280 К. Определите: 1) внутреннюю энергию молекул кислорода; 2) среднюю кинетическую энергию вращательного движения молекул кислорода. Газ считать идеальным.

47. Определите изменение энтропии при превращении 20 г льда при  $0^{\circ}\text{C}$  в пар при  $100^{\circ}\text{C}$ .

48. Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного и вращательного движения молекул, содержащихся в 1 кг азота при 300 К?

49. Некоторый газ массой 2 г и первоначальным удельным объемом  $\nu_1 = 0,825 \text{ м}^3/\text{кг}$ , находящийся при температуре 300 К и под давлением 0,5 МПа сжимают изотермически до давления 1,2 МПа. Определите: 1) какой это газ; 2) работу, затраченную на сжатие газа.

50. Азот массой 280 г нагревают при постоянном давлении от 280 до 400 К. Определите количество теплоты, поглощенное газом, изменение внутренней энергии и работу расширения газа.

51. Найдите силу электростатического отталкивания между ядром атома натрия и бомбардирующим его протоном, считая, что протон подошел к ядру на расстояние  $6 \cdot 10^{-14}$  м. Заряд ядра натрия в 11 раз больше заряда протона. Влиянием электронной оболочки атома натрия пренебречь.

52. Три точечных отрицательных заряда  $q = -5 \text{ нКл}$  каждый находятся в вершинах равностороннего треугольника. Определите какой заряд  $q_0$  следует поместить в центре треугольника, чтобы система находилась в равновесии.

53. Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными плоскостями в вакууме с поверхностными плотностями  $\sigma_1 = 0,6 \text{ мкКл/м}^2$  и  $\sigma_2 = -0,4 \text{ мкКл/м}^2$ . Определите напряженность электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей.

54. Найдите напряженность электрического поля в точке, лежащей посередине между точечными зарядами  $q_1 = 8 \text{ нКл}$  и  $q_2 = -6 \text{ нКл}$ . Расстояние между зарядами 10 см, заряды находятся в масле.

55. В вершинах квадрата со стороной 0,2 м расположены равные одноименные заряды. Потенциал создаваемого ими поля в центре квадрата равен 400 В. Определите заряд.

56. Заряды по 2 нКл помещены в вершинах равностороннего треугольника со стороной 0,5 м. Равнодействующая сил, действующих на четвертый заряд, помещенный на середине одной из сторон треугольника, равна 0,8 мкН. Определите этот заряд, напряженность и потенциал поля в точке его расположения.

57. В вершинах квадрата со стороной 0,1 м расположены заряды одинаковой величины. В случае, когда два соседних заряда положительные, а два других – отрицательные, напряженность поля в центре квадрата равна 200 В/м. Определите заряд.

58. Определите работу внешних сил по перемещению заряда 1 нКл вдоль линии напряженности с расстояния 5 см до расстояния 3 см, если электростатическое поле создается бесконечной, равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда  $2 \text{ мкКл/м}^2$ .

59. Заряд 1 нКл притянулся к бесконечной плоскости, равномерно заряженной с поверхностной плотностью  $0,2 \text{ мкКл/м}^2$ . На каком расстоянии от плоскости находился заряд, если работа сил поля по его перемещению равна 1 мкДж?

60. Два точечных одноименных заряда  $q_1 = 1 \text{ нКл}$  и  $q_2 = 4 \text{ нКл}$  находятся в вакууме на расстоянии 10 см. Определите работу, которую надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния 2 см.

61. Заряд  $-2 \text{ нКл}$  переместился в поле заряда  $+3 \text{ нКл}$  из точки с потенциалом 200 В в точку с потенциалом 500 В. Определите работу сил поля и расстояние между этими точками.

62. Определите линейную плотность бесконечно длинной заряженной нити, если работа сил поля по перемещению заряда 2 нКл с расстояния 6 см до расстояния 2 см в направлении, перпендикулярном нити равна 50 мкДж.

63. Электростатическое поле создается сферой радиусом 10 см, равномерно заряженной с поверхностной плотностью  $2 \text{ нКл/м}^2$ . Определите разность потенциалов между двумя точками поля, лежащими на расстояниях 20 см и 25 см от центра сферы.

64. Заряд 2 нКл находится на расстоянии 0,4 м от бесконечно длинной равномерно заряженной нити. Под действием поля нити заряд перемещается на 0,14 м. Определите линейную плотность заряда нити, если работа сил поля равна 0,2 мкДж.

65. Определите расстояние между пластинами плоского конденсатора, если между ними приложена разность потенциалов 200 В, причем площадь каждой пластины  $100 \text{ см}^2$ , ее заряд 20 нКл. Диэлектриком служит парафин.

66. Емкость батареи конденсаторов, образованной двумя последовательно соединенными конденсаторами,  $C = 150 \text{ пФ}$ , а заряд 20 нКл. Определите емкость второго конденсатора, а также разность потенциалов на обкладках каждого конденсатора, если  $C_1 = 250 \text{ пФ}$ .

67. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов 1,5 кВ. Площадь пластин  $200 \text{ см}^2$  и расстояние между ними 4 мм. После отключения конденсатора от источника напряжения в пространство между пластинами вставили слюду. Определите: 1) разность потенциалов между пластинами после внесения диэлектрика; 2) емкость конденсатора до и после внесения диэлектрика; 3) поверхностную плотность заряда до и после внесения диэлектрика.



68. Вычислите емкость батареи, состоящей из трех конденсаторов емкостью 2 мкФ каждый, при всех возможных случаях их соединения.

69. Батарея из трех последовательно соединенных конденсаторов  $C_1 = 1$  мкФ,  $C_2 = 2$  мкФ,  $C_3 = 3$  мкФ подсоединены к источнику ЭДС. Заряд батареи конденсаторов 50 мкКл. Определите: 1) напряжения на каждом конденсаторе; 2) ЭДС источника; 3) емкость батареи конденсаторов.

70. Два конденсатора одинаковой емкости по 3 мкФ заряжены один до напряжения 100 В, а другой – до 200 В. Определить напряжение между обкладками конденсаторов, если их соединить параллельно: а) одноименно; б) разноименно заряженными обкладками.

71. Плотность тока в никелиновом проводнике длиной 25 м равна 2 МА/м<sup>2</sup>. Определите разность потенциалов на концах проводника.

72. По алюминиевому проводу сечением 0,1 мм<sup>2</sup> течет ток 0,4 А. Определите силу, действующую на отдельные свободные электроны со стороны электрического поля.

73. Определите плотность тока, текущего по проводнику длиной 10 м, если на концах его поддерживается разность потенциалов 4 В. Удельное сопротивление материала 2 мкОм\*м.

74. Сила тока в проводнике равномерно растет от  $I_0 = 0$  до  $I_{\max} = 2$  А за время 5 с. Определите заряд, прошедший по проводнику.

75. Определить плотность тока, если за 4 с через проводник сечением 2 мм<sup>2</sup> прошло  $4 \cdot 10^{19}$  электронов.

76. Электродвижущая сила батареи равна 14 В. Коэффициент полезного действия батареи составляет 0,75 при силе тока 3 А. Чему равно внутреннее сопротивление батареи?

77. Определите плотность тока в медной проволоке длиной 50 м, если разность потенциалов на ее концах 12 В.

78. Сила тока в резисторе линейно возрастает за 5 с от 0 до 6 А. Сопротивление резистора 8 Ом. Определите количество теплоты, выделившееся в резисторе за первые 4 с.

79. Определите число электронов, прошедших за 2 с через поперечное сечение площадью 1,4 мм<sup>2</sup> вольфрамовой проволоки длиной 40 м при напряжении на ее концах 20 В.

80. Найдите разность потенциалов на медном проводе длиной 500 м и диаметром 2 мм. Если ток в нем 2 А.

81. Два бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами 4 А и 5 А расположены перпендикулярно друг другу. Определите индукцию и напряженность магнитного поля на середине кратчайшего расстояния между проводниками, равного 30 см.

82. Прямолинейная рамка со сторонами 10 и 8 см, состоящая из 10 витков, помещена во внешнее однородное магнитное поле с индукцией 0,4 Тл. Нормаль к рамке составляет с направлением магнитного поля угол  $\alpha = 45^\circ$ . Определите вращающий момент сил, действующих на рамку, если по ней течет ток  $I = 1,5$  А.

83. По двум бесконечно длинным прямолинейным параллельным проводникам, расстояние между которыми 10 см, в одном направлении текут токи 3 и 5 А. Определите расстояние от проводника с меньшим током до геометрического места точек, в котором напряженность магнитного поля равна нулю.

84. Протон и электрон, двигаясь с одинаковой скоростью, влетают в однородное магнитное поле, перпендикулярное к скорости. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона больше радиуса кривизны траектории электрона?

85. По двум бесконечно длинным прямолинейным параллельным проводникам, расстояние между которыми 40 см, в противоположных направлениях текут токи 4 и 5 А. Определите расстояние от проводника с меньшим током до геометрического места точек, в котором напряженность магнитного поля равна нулю.

86. Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 2 кВ, влетает в однородное магнитное поле с индукцией 4 мТл перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определите: 1) радиус окружности, по которой движется электрон; 2) период обращения электрона.

87. По двум бесконечно длинным прямолинейным параллельным проводникам текут токи 6 и 12 А в одном направлении. Геометрическое место точек, в котором индукция магнитного поля равна нулю, находится на расстоянии 20 см от проводника с меньшим током. Определите расстояние между проводниками.

88. Определите, при какой скорости пучок заряженных частиц, двигаясь перпендикулярно скрещенным под прямым углом однородным электрическому ( $E = 150$  кВ/м) и магнитному ( $B = 60$  мТл) полям, не отклоняется.

89. Найдите кинетическую энергию протона, движущегося по дуге окружности радиусом 20 см в магнитном поле с индукцией 1,2 Тл.

90. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией 0,3 Тл по окружности. Определите угловую скорость вращения электрона.

91. В однородном магнитном поле с индукцией 0,3 Тл равномерно вращается катушка, содержащая 500 витков, с частотой  $8 \text{ с}^{-1}$ . Площадь поперечного сечения катушки  $140 \text{ см}^2$ . Ось вращения перпендикулярна оси катушки и направлению магнитного поля. Определите максимальную ЭДС индукции вращающейся катушки.

92. Однослойная длинная катушка содержит 500 витков, плотно прилегающих друг к другу. Определите индуктивность катушки, если диаметр проволоки 0,8 мм (изоляция ничтожной толщины) и она намотана на картонный цилиндр радиусом 1,2 см.

93. В однородном магнитном поле помещена прямоугольная рамка с подвижной стороной (ее длина равна 10 см), которая перемещается перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью 4 м/с. Определите индукцию магнитного поля, если возникающая в рамке ЭДС индукции  $\mathcal{E} = 0,3$  В.

94. Соленоид диаметром 4,4 см, имеющий 700 витков, помещен в магнитное поле, индукция которого изменяется со скоростью 0,8 мТл/с. Ось

соленоида составляет с вектором магнитной индукции угол  $45^{\circ}$ . Определите ЭДС индукции, возникающую в соленоиде.

95. В однородном магнитном поле с индукцией 0,4 Тл помещена прямоугольная рамка с подвижной стороной, длина которой 16 см. Определите ЭДС индукции, возникающей в рамке, если ее подвижная сторона перемещается перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью 2 м/с.

96. Длинный соленоид индуктивностью 7 мГн содержит 800 витков. Площадь поперечного сечения соленоида  $50 \text{ см}^2$ . Определите магнитную индукцию поля внутри соленоида, если сила тока, протекающего по его обмотке, равна 3 А.

97. Катушка из 200 витков площадью  $20 \text{ см}^2$  вращается с частотой 4 Гц в однородном магнитном поле индукцией 0,3 Тл. Ось вращения перпендикулярна оси катушки и линиям индукции поля. Определите максимальную электродвижущую силу индукции в катушке.

98. Перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля индукцией 0,2 Тл движется проводник длиной 18 см со скоростью 6 м/с, перпендикулярной проводнику. Определите ЭДС, индуцируемую в проводнике.

99. Соленоид содержит 400 витков. При силе тока 6 А магнитный поток через соленоид 50 мкВб. Определите индуктивность соленоида.

100. На концах крыльев самолета размахом 25 м, летящего со скоростью 800 км/ч, возникает электродвижущая сила индукции 0,05 В. Определите вертикальную составляющую напряженности магнитного поля Земли.

## Библиографический список

- 1 Трофимова, Т.И. Курс физики [Текст]: учебное пособие / Таисия Ивановна Трофимова.- 13-е изд., стер. - М. : Издательский центр «Академия», 2007.-560с.
- 2 Дмитриева, В.Ф. Основы физики. [Текст]: учебное пособие / В.Ф.Дмитриева. - М.: «Высшая школа», 2005г.
- 3 Трофимова, Т.И. Курс физики. Задачи и решения[Текст]: учебное пособие / Т.И.Трофимова, А.В.Фирсов. – 4-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. - 592с.
- 4 Трофимова, Т.И. Сборник задач по курсу физики с решениями[Текст]: учебное пособие / Т.И.Трофимова. – М.; Высшая школа, 2005г.
- 5 Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики.[Текст]: учебное пособие/Волькенштейн В. - С-Пб.; «Книжный мир»., 2005г.
- 6 Чуваев, А.И. Практические занятия по физике [Текст]: методические указания; в 3ч./А.И.Чуваев, -Орск; Издательство ОГТИ, 2007г., ЧастьII,- 79с.
- 7 Ожегова С.М. Общая физика. [Текст]: методическое пособие /С.М.Ожегова Новотроицк 2007г.
- 8 Ожегова, С.М., Погорелова, Ж.В. Общая физика[Текст]: методическое пособие/ С.М.Ожегова, Ж.В.Погорелова Новотроицк 2007г.

**Приложение А**  
**Определение номера варианта**

Номер варианта соответствует двум последним цифрам номера зачетной книжки

Номер варианта	Номера задач
1	1,11,21,31,41,51,61,71,81,91
2	2,12,22,32,42,52,62,72,82,92
3	3,13,23,33,43,53,63,73,83,93
4	4,14,24,34,44,54,64,74,84,94
5	5,15,25,35,45,55,65,75,85,95
6	6,16,26,36,46,56,66,76,86,96
7	7,17,27,37,47,57,67,77,87,97
8	8,18,28,38,48,58,68,78,88,98
9	9,19,29,39,49,59,69,79,89,99
10	10,20,30,40,50,60,70,80,90,100
11	4,15,27,33,48,52,64,71,86,99
12	5,16,28,34,49,53,65,72,87,100
13	6,17,29,35,50,54,66,73,88,91
14	7,18,30,36,41,55,67,74,89,92
15	8,19,21,37,42,56,68,75,90,93
16	9,20,22,38,43,57,69,76,81,94
17	10,11,23,39,44,58,70,77,82,95
18	1,12,24,40,45,59,61,78,83,96
19	2,13,25,31,46,60,62,79,84,97
20	3,14,26,32,47,51,63,80,85,98

## **Приложение Б**

### **Образец оформления титульного листа**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»  
Новотроицкий филиал  
Кафедра Математики и естествознания

### **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ № 1**

№ зачетной книжки 0123456  
Вариант №6

Выполнил: Петров Петр Петрович  
Группа: Э-14-15з

Проверил:

Новотроицк, 2014

## Приложение В

### Справочные материалы

#### 1. Основные физические постоянные

Физическая постоянная	Обозначение	Числовое значение
Ускорение свободного падения	g	9,81 м/с <sup>2</sup>
Постоянная Авогадро	N <sub>A</sub>	6,02 · 10 <sup>23</sup> моль <sup>-1</sup>
Молярная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль · К)
Постоянная Больцмана	k	1,38 · 10 <sup>-23</sup> Дж/К
Элементарный заряд	e	1,6 · 10 <sup>-19</sup> Кл
Масса покоя электрона	m <sub>e</sub>	9,1 · 10 <sup>-31</sup> кг
Масса покоя протона	m <sub>p</sub>	1,67 · 10 <sup>-27</sup> кг

#### 2. Удельная теплота плавления $\lambda \cdot 10^4$ , Дж/кг

Лед - 33,5

#### 3. Удельная теплота парообразования $r \cdot 10^5$ , Дж/кг

Вода - 22,5

#### 4. Удельная теплоемкость $c \cdot 10^{-2}$ , Дж/(кг · К)

Вода - 41,9

Лед - 21,0

#### 5. Удельное сопротивление $\rho \cdot 10^{-8}$ , Ом · м

Алюминий - 2,6

Вольфрам - 5,5

Никелин - 40

Медь - 1,7

#### 6. Диэлектрическая проницаемость (относительная) вещества

Парафин - 2,0

Слюда - 6,0

Трансформаторное масло - 2,2

БЕЛОВА МАРИНА НИКОЛАЕВНА

## **ФИЗИКА**

**Физические основы механики.**

**Молекулярная физика и термодинамика.**

**Электричество и магнетизм.**

Методические указания  
по выполнению контрольной работы №1  
для студентов направлений 080100 «Экономики» и 080200 «Менеджмент»  
заочной формы обучения

Подписано в печать 22.10.2014		
Формат 60x90 $\frac{1}{16}$ Рег.№ 50	Печать офсетная Тираж 30 экз.	Уч.-изд.л. 2,75

ФГАОУ ВПО

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Новотроицкий филиал

462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8.

Е-mail: [nfmisis@yandex.ru](mailto:nfmisis@yandex.ru)

Контактный тел. 8 (3537) 679729.