



ТОЛЬКО ДЛЯ  
РОДИТЕЛЕЙ

Серия  
РЕШЕБНИК

NEW

# Домашняя работа по физике

# 10

«ФИЗИКА  
10 класс»  
Т.Я. Макишев,  
Б.Б. Буховцев,  
Н.Н. Сотский



**Н.А. Панов**

# **Домашняя работа по физике за 10 класс**

**к учебнику «Физика. 10 класс:  
учеб. для общеобразоват. учреждений:**

**базовый и профил. уровни /**

**Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев,  
Н.Н. Сотский; под ред. В.И. Николаева,  
Н.А. Парфентьевой. — 19-е изд. —  
М.: Просвещение, 2010»**

*Издание четырнадцатое,  
переработанное и исправленное*

**Издательство  
«ЭКЗАМЕН»**

**МОСКВА  
2012**

УДК 373:53  
ББК 22.3я721  
П16

*Имя автора и название цитируемого издания указаны на титульном листе данной книги (ст. 1274 п. 1 части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации).*

*Условия заданий приводятся исключительно в учебных целях и в необходимом объеме — как иллюстративный материал.*

*Изображение учебника «Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений: базовый и профил. уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский; под ред. В.И. Николаева, Н.А. Парфентьевой. — 19-е изд. — М.: Просвещение, 2010» приведено на обложке данного издания исключительно в качестве иллюстративного материала (ст. 1274 п. 1 части четвертой Гражданского кодекса Российской Федерации).*

**Панов, Н.А.**

**П16** Домашняя работа по физике за 10 класс к учебнику Г.Я. Мякишева и др. «Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений: базовый и профил. уровни» / Н.А. Панов. — 14-е изд., перераб. и испр. — М.: Издательство «Экзамен», 2012. — 61, [3] с. (Серия «Решебник»)

ISBN 978-5-377-04320-1

В пособии решены и в большинстве случаев подробно разобраны задачи и упражнения из учебника «Физика. 10 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений: базовый и профил. уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский; под ред. В.И. Николаева, Н.А. Парфентьевой. — 19-е изд. — М.: Просвещение, 2010».

Пособие адресовано родителям, которые смогут проконтролировать правильность решения, а в случае необходимости помочь детям в выполнении домашней работы по физике.

**УДК 373:53  
ББК 22.3я721**

---

Формат 84х108/32. Гарнитура «Таймс». Бумага газетная.  
Уч.-изд. л. 1,57 Усл. печ. л. 3,36. Тираж 15 000 экз. Заказ № 8933(3)

---

**ISBN 978-5-377-04320-1**

© Панов Н.А., 2012  
© Издательство «ЭКЗАМЕН», 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

Упражнение 1 .....	5
Упражнение 2 .....	7
Упражнение 3 .....	8
Упражнение 4 .....	9
Упражнение 5 .....	10
Упражнение 6 .....	11
Упражнение 7 .....	13
Упражнение 8 .....	14
Упражнение 9 .....	15
Упражнение 10 .....	16
Упражнение 11 .....	18
Упражнение 12 .....	22
Упражнение 13 .....	24
Упражнение 14 .....	29
Упражнение 15 .....	32
Упражнение 16 .....	37
Упражнение 17 .....	39
Упражнение 18 .....	43
Упражнение 19 .....	45
Упражнение 20 .....	50

<b>Лабораторная работа № 1. Изучение движения тела по окружности под действием сил упругости и тяжести ..</b>	<b>53</b>
<b>Лабораторная работа № 2.</b>	
<b>Изучение закона сохранения механической энергии.....</b>	<b>55</b>
<b>Лабораторная работа № 3.</b>	
<b>Опытная проверка закона Гей-Люссака.....</b>	<b>56</b>
<b>Лабораторная работа № 4. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока .....</b>	<b>59</b>
<b>Лабораторная работа № 5. Изучение последовательного и параллельного соединения проводов .....</b>	<b>61</b>

## Упражнение 1.

**№ 1.**

Дано:

$$x_0 = 12 \text{ м};$$

$$t = 6 \text{ с};$$

$$v = 3 \text{ м/с}.$$

Найти  $x, l$ .

Решение:

$$x = x_0 - vt = 12 \text{ м} - 3 \text{ м/с} \cdot 6 \text{ с} = -6 \text{ м};$$

$$l = |vt| = |6 \text{ с} \cdot 3 \text{ м/с}| = 18 \text{ м}.$$

$$\text{Ответ: } x = -6 \text{ м}; l = 18 \text{ м}.$$

**№ 2.**

$$1) \text{ При } t = 0 \div 3 \text{ с}; v = \frac{-4 \text{ м} - 2 \text{ м}}{3 \text{ с} - 0 \text{ с}} = -2 \text{ м/с};$$

$$2) \text{ при } t = 3 \div 7 \text{ с}; v = 0;$$

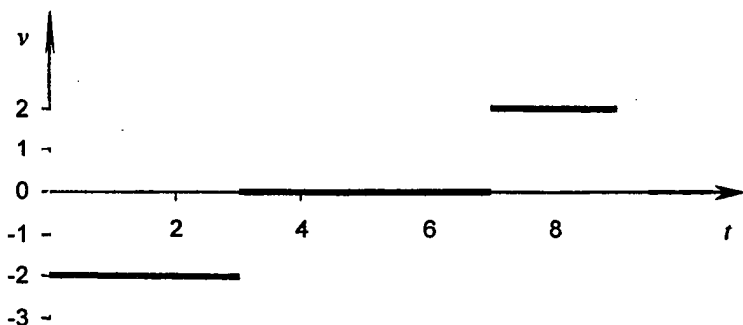
$$3) \text{ при } t = 7 \div 9 \text{ с}; v = \frac{0 \text{ м} - (-4) \text{ м}}{9 \text{ с} - 7 \text{ с}} = 2 \text{ м/с}.$$

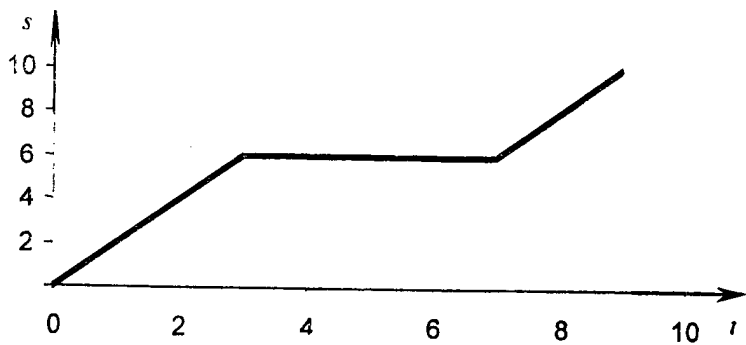
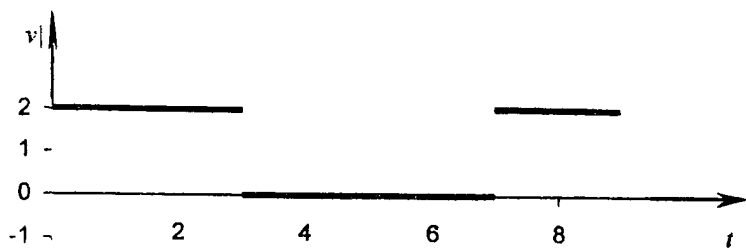
Таким образом, получаем:

$$v(t) = \begin{cases} -2 \text{ м/с}, & \text{при } 0 \leq t < 3 \text{ с}, \\ 0, & \text{при } 3 \text{ с} \leq t < 7 \text{ с}, \\ 2 \text{ м/с}, & \text{при } 7 \text{ с} \leq t < 9 \text{ с}, \end{cases}$$

$$|v(t)| = \begin{cases} 2 \text{ м/с}, & \text{при } 0 \leq t < 3 \text{ с}, \\ 0, & \text{при } 3 \text{ с} \leq t < 7 \text{ с}, \\ 2 \text{ м/с}, & \text{при } 7 \text{ с} \leq t < 9 \text{ с}, \end{cases}$$

$$s(t) = \begin{cases} 2t, & \text{при } 0 \leq t < 3 \text{ с}, \\ 0, & \text{при } 3 \text{ с} \leq t < 7 \text{ с}, \\ 6 + 2(t - 7), & \text{при } 7 \text{ с} \leq t < 9 \text{ с}. \end{cases}$$





## Упражнение 2.

### № 1.

Дано:

$$v_1 = 36 \text{ км/ч} =$$

$$= 10 \text{ м/с};$$

$$v_2 = 20 \text{ м/с}.$$

Найти  $v_{12}$ ,  $v_{21}$ .

Решение:

$$v_{12} = v_1 + v_2 = 10 \text{ м/с} + 20 \text{ м/с} = 30 \text{ м/с},$$

$$v_{21} = -v_2 - v_1 = -20 \text{ м/с} - 10 \text{ м/с} = -30 \text{ м/с}$$

$$\text{Ответ: } v_{12} = 30 \text{ м/с}; v_{21} = -30 \text{ м/с}$$

### № 2.

Дано:

$$v_1 = 72 \text{ км/ч} = 20 \text{ м/с};$$

$$v_2 = 102 \text{ км/ч} \approx 28 \text{ м/с};$$

$$l_1 = 900 \text{ м};$$

$$l_2 = 140 \text{ м}.$$

Найти  $\Delta t$ .

Решение:

$$\Delta t = \frac{l_1 + l_2}{v_1 + v_2} = \frac{900 \text{ м} + 140 \text{ м}}{20 \text{ м/с} + 28 \text{ м/с}} \approx 21,7 \text{ с}$$

$$\text{Ответ: } \Delta t \approx 21,7 \text{ с}.$$

## Упражнение 3.

### № 1.

Дано:

$$v_0 = 4 \text{ м/с};$$

$$a = 2 \text{ м/с}^2;$$

$$t = 4 \text{ с}.$$

Найти  $v$ .

Решение:

$$v = v_0 + at = 4 \text{ м/с} + 2 \text{ м/с}^2 \cdot 4 \text{ с} = 12 \text{ м/с}$$

Ответ:  $v = 12 \text{ м/с}$ .

### № 2.

Дано:

$$x_0 = 10 \text{ м};$$

$$v_0 = -20 \text{ м/с};$$

$$a = 10 \text{ м/с}^2.$$

Найти  $x$ .

Решение:

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} = 10 - 20t + 5t^2.$$

1) При  $t = 1 \text{ с}$

$$x(t) = 10 - 20 \cdot 1 + 5 \cdot 1^2 = -5 \text{ м}$$

2) При  $t = 2 \text{ с}$

$$x(t) = 10 - 20 \cdot 2 + 5 \cdot 2^2 = -10 \text{ м}.$$

3) При  $t = 3 \text{ с}$

$$x(t) = 10 - 20 \cdot 3 + 5 \cdot 3^2 = -5 \text{ м}$$

4) При  $t = 4 \text{ с}$

$$x(t) = 10 - 20 \cdot 4 + 5 \cdot 4^2 = 10 \text{ м}$$

### № 3.

Дано:

$$v_{01} = 36 \text{ км/ч} = 10 \text{ м/с};$$

$$a = 2 \text{ м/с}^2;$$

$$v_{02} = -72 \text{ км/ч} = -20 \text{ м/с};$$

$$a = 1 \text{ м/с}^2;$$

$$x_{02} = 300 \text{ м}.$$

Найти  $t$

Решение:

$$\begin{cases} x_1 = v_{01}t + \frac{at^2}{2}, \\ x_2 = x_{02} + v_{02}t + \frac{at^2}{2}, \\ x_1(t) = x_2(t). \end{cases}$$

$$x_2(t) - x_1(t) = 0 \Rightarrow (v_{02} - v_{01})t = -x_{02};$$

$$t = \frac{x_{02}}{v_{01} - v_{02}} = \frac{300 \text{ м}}{10 \text{ м/с} - (-20 \text{ м/с})} = 10 \text{ с}$$

Ответ:  $t = 10 \text{ с}$ .

## Упражнение 4.

### № 1.

Дано:

$$t = 2 \text{ с.}$$

Найти  $h, v$ .

Решение:  $h = \frac{gt^2}{2} = \frac{10 \text{ м/с}^2 \cdot (2 \text{ с})^2}{2} = 20 \text{ м.}$

$$v = gt = 10 \text{ м/с}^2 \cdot 2 \text{ с} = 20 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $v = 20 \text{ м/с.}$

### № 2.

Дано:

$$v_{0x} = 20 \text{ м/с;}$$

$$y_0 = 10 \text{ м.}$$

Найти  $t, L, v$ .

Решение:

$$1) y_0 = \frac{gt^2}{2}; t = \sqrt{\frac{2y_0}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \text{ м}}{10 \text{ м/с}^2}} \approx 1,4 \text{ с.}$$

$$2) L = v_{0x}t = v_0 \sqrt{\frac{2y_0}{g}} = 20 \text{ м/с} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \text{ м}}{10 \text{ м/с}^2}} \approx 28 \text{ м,}$$

$$3) v = \sqrt{v_{0x}^2 + (gt)^2} = \sqrt{(20 \text{ м/с})^2 + (10 \text{ м/с}^2 \cdot 1,4 \text{ с})^2} \approx 24,5 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $t \approx 1,4 \text{ с; } L \approx 28 \text{ м; } v \approx 24,5 \text{ м/с}$

### № 3.

Дано:

$$\alpha = 45^\circ;$$

$$v_0 = 20 \text{ м/с;}$$

$$t = 2 \text{ с.}$$

Найти  $h, L, v, x(t), y(t)$ .

Решение:

$$1) t_n = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \Rightarrow h = v_0 t_n \sin \alpha - \frac{gt_n^2}{2} =$$

$$= \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{(20 \text{ м/с})^2 \cdot \sin^2 45^\circ}{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} = 10 \text{ м;}$$

$$2) L = 2t_n \cdot v_0 \cos \alpha = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} = \frac{(20 \text{ м/с})^2 \cdot \sin(2 \cdot 45^\circ)}{10 \text{ м/с}^2} = 40 \text{ м;}$$

$$3) v = v_0 \cos \alpha = 20 \text{ м/с} \cdot \cos 45^\circ \approx 14 \text{ м/с;}$$

$$4) x(t) = v_0 t \cos \alpha = 20 \text{ м/с} \cdot 2 \text{ с} \cdot \cos 45^\circ \approx 28 \text{ м;}$$

$$5) y(t) = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} = 20 \text{ м/с} \cdot 2 \text{ с} \cdot \sin 45^\circ - \frac{10 \text{ м/с}^2 \cdot (2 \text{ с})^2}{2} \approx 8 \text{ м.}$$

Ответ:  $h = 10 \text{ м; } L = 40 \text{ м; } v = 14 \text{ м/с; } x(t) \approx 28 \text{ м; } y(t) \approx 8 \text{ м.}$

## Упражнение 5.

### № 1.

Дано:

$$v = 95 \text{ м/с};$$

$$d = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м.}$$

Найти  $n$ .

Решение:

$$v = 2\pi n \frac{d}{2} = \pi n d;$$

$$n = \frac{v}{\pi d} \approx \frac{95 \text{ м/с}}{3,14 \cdot 0,3} \approx 100 \text{ с}^{-1}.$$

Ответ:  $n \approx 100 \text{ с}^{-1}$ .

### № 2.

Дано:

$$l = 3,5 \text{ м};$$

$$T = 60 \text{ мин};$$

$$\Delta t = 15 \text{ мин.}$$

Найти  $\vec{v}(0)$ ,

$\vec{v}(\Delta t)$ ,  $\vec{v}(2\Delta t)$ ,

$\vec{v}(3\Delta t)$ .

Решение:

По модулю  $v(0) = v(\Delta t) = v(2\Delta t) = v(3\Delta t) =$

$$= \frac{2\pi l}{T} \approx \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \text{ м}}{60 \text{ мин}} \approx 0,37 \text{ м/мин.}$$

$\vec{v}(0)$  направлено параллельно земле;  $\vec{v}(\Delta t)$  вниз,

$\vec{v}(2\Delta t)$  параллельно земле, противоположно  $\vec{v}(0)$ ;

$\vec{v}(3\Delta t)$  вверх.

## Упражнение 6.

### № 1.

Ускорение шара  $\vec{a}$  по второму закону Ньютона сонаправлено с силой  $\vec{F}$ . О направлении движения шара ничего сказать нельзя, т.к. неизвестны начальная скорость шара, масса шара.

### № 2.

Дано:

$$m = 5 \text{ кг};$$

$$t = 2 \text{ с};$$

$$v_1 = 2 \text{ м/с};$$

$$v_2 = 8 \text{ м/с}.$$

Найти  $F$ .

Решение:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t};$$

$$ma = F + mg;$$

$$F = m(a - g) = m\left(\frac{v_2 - v_1}{t} - g\right) =$$

$$= 5 \text{ кг} \left( \frac{8 \text{ м/с} - 2 \text{ м/с}}{2 \text{ с}} - 10 \text{ м/с}^2 \right) = -35 \text{ Н}$$

$$\text{Ответ: } F = -35 \text{ Н}.$$

### № 3.

Дано:

$$m = 5 \text{ кг};$$

$$t = 3 \text{ с};$$

$$v_1 = 8 \text{ м/с};$$

$$v_2 = 2 \text{ м/с}.$$

Найти  $N$ .

Решение:

$$m \frac{v_2 - v_1}{t} = N - mg; N = m\left(g + \frac{v_2 - v_1}{t}\right) =$$

$$= 50 \text{ кг} \left( 10 \text{ м/с}^2 + \frac{8 \text{ м/с} - 2 \text{ м/с}}{3 \text{ с}} \right) = 600 \text{ Н}.$$

$$\text{Ответ: } N = 600 \text{ Н}.$$

### № 4.

Дано:

$$l = 600 \text{ м};$$

$$F = 147 \text{ кН} = 1,47 \cdot 10^5 \text{ Н};$$

$$v_1 = 36 \text{ км/ч} = 10 \text{ м/с};$$

$$v_2 = 54 \text{ км/ч} = 15 \text{ м/с};$$

$$m = 1000 \text{ т} = 10^6 \text{ кг}.$$

Найти  $F_C$ .

Решение:

$$1) m \frac{v_2 - v_1}{t} = F - F_C;$$

$$2) l = (v_1 + v_2) \frac{t}{2} \Rightarrow \frac{1}{t} = \frac{v_1 + v_2}{2l},$$

$$3) F_C = F - m \frac{v_2 - v_1}{t} = F - m \frac{v_2^2 - v_1^2}{2l} =$$

$$= 1,47 \cdot 10^5 \text{ Н} - 10^6 \text{ кг} \cdot \frac{(15 \text{ м/с})^2 - (10 \text{ м/с})^2}{2 \cdot 600 \text{ м}} \approx$$

$$\approx 1,43 \cdot 10^5 \text{ Н} = 143 \text{ кН}.$$

$$\text{Ответ: } F_C = 143 \text{ кН}.$$

№ 5.

Дано:

$$r = 1 \text{ м.}$$

$$m = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг};$$

$$v_1 = 2 \text{ м/с},$$

$$v_2 = 4 \text{ м/с.}$$

Найти  $N_1, N_2$ .

Решение:

$$\frac{mv_i^2}{l} = N_i + mg; N_i = m\left(\frac{v_i^2}{l} - g\right);$$

$$1) \text{ При } i = 1 \quad N_1 = 0,1 \text{ кг} \left( \frac{(2 \text{ м/с})^2}{1 \text{ м}} - 10 \text{ м/с}^2 \right) = -0,6 \text{ Н, т.е. } \vec{N}_1 \text{ направлена вверх.}$$

$$2) \text{ При } i = 2 \quad N_2 = 0,1 \text{ кг} \left( \frac{(4 \text{ м/с})^2}{1 \text{ м}} - 10 \text{ м/с}^2 \right) = 0,6 \text{ Н, т.е. } \vec{N}_2 \text{ направлена вниз.}$$

$$\text{Ответ: } N_1 = -0,6 \text{ Н, } N_2 = 0,6 \text{ Н.}$$

№ 6.

Дано

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$m_2 = 4 \text{ кг.}$$

$$F = 84 \text{ Н}$$

Найти  $a, T$

Решение:

$$\begin{cases} m_1 a = F - T - m_1 g; \\ m_2 a = T - m_2 g; \end{cases}$$

$$a(m_1 + m_2) = F - g(m_1 + m_2).$$

$$a = \frac{F}{m_1 + m_2} - g = \frac{84 \text{ Н}}{8 \text{ кг} + 4 \text{ кг}} - 10 \text{ м/с}^2 = 4 \text{ м/с}^2.$$

$$\frac{F m_2}{m_1 + m_2} - m_2 g = T - m_2 g;$$

$$T = \frac{m_2}{m_1 + m_2} F = \frac{4 \text{ кг}}{2 \text{ кг} + 4 \text{ кг}} \cdot 84 \text{ Н} = 56 \text{ Н.}$$

$$\text{Ответ: } a = 4 \text{ м/с}^2;$$

$$T = 56 \text{ Н.}$$

## Упражнение 7.

### № 1.

Дано:

$$R = 3,7R_1;$$

$$m = 81m_1;$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

Найти  $g_1$ .

Решение:

$$g = G \frac{m}{R^2}; g_1 = G \frac{m_1}{R_1^2};$$

$$g_1 = g \frac{m_1}{m} \cdot \frac{R^2}{R_1^2} = 9,8 \text{ м/с}^2 \frac{1}{81} \cdot \frac{(3,7)^2}{1^2} \approx 1,66 \text{ м/с}^2$$

Ответ:  $g_1 \approx 1,66 \text{ м/с}^2$ .

### № 2.

Дано:

$$v_0 = 20 \text{ м/с};$$

$$\mu = 0,8.$$

Найти  $a, t$ .

Решение:

$$ma = -\mu mg; a = \mu g = 0,8 \cdot 10 \text{ м/с}^2 = 8 \text{ м/с}^2$$

$$0 = v_0 - at; t = \frac{v_0}{a} = \frac{20 \text{ м/с}}{8 \text{ м/с}^2} = 2,5 \text{ с.}$$

Ответ:  $a = 8 \text{ м/с}^2$ ;

$t = 2,5 \text{ с.}$

### № 3.

Дано:

$$m = 97 \text{ кг};$$

$$\mu = 0,2;$$

$$\alpha = 30^\circ.$$

Найти  $T$ .

Решение:

$$1) \text{ Нить } \begin{cases} 0 = T \sin \alpha - mg + N; \\ 0 = T \cos \alpha - \mu N; \end{cases}$$

$$N = mg - T \sin \alpha; 0 = T \cos \alpha - \mu(mg - T \sin \alpha);$$

$$T = \frac{\mu mg}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} = \frac{0,2 \cdot 97 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2}{\cos 30^\circ + 0,2 \sin 30^\circ} \approx 200 \text{ Н.}$$

Ответ:  $T = 200 \text{ Н.}$

## Упражнение 8.

### № 1.

Дано:

$$m_1 = 2 \cdot 10^4 \text{ кг};$$

$$m_2 = 3 \cdot 10^4 \text{ кг};$$

$$v_2 = 1 \text{ м/с};$$

$$v_1 = 0.$$

Найти  $v$ .

Решение:

По закону сохранения импульса

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v;$$

$$v = \frac{m_2}{m_1 + m_2} v_2 = \frac{3 \cdot 10^4 \text{ кг}}{2 \cdot 10^4 \text{ кг} + 3 \cdot 10^4 \text{ кг}} \cdot 1 \text{ м/с} = 0,6 \text{ м/с}.$$

Ответ:  $v = 0,6 \text{ м/с}$ .

### № 2.

Дано:

$$m_1 = 100 \text{ кг};$$

$$v_1 = 1 \text{ м/с};$$

$$m_2 = 50 \text{ кг};$$

$$v_2 = 1,5 \text{ м/с}.$$

Найти  $V$ .

Решение:

По закону сохранения импульса:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) V_x;$$

$$m_2 v_2 = (m_1 + m_2) V_y;$$

По теореме Пифагора

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \frac{1}{m_1 + m_2} \sqrt{(m_1 v_1)^2 + (m_2 v_2)^2} = \\ &= \frac{1}{100 \text{ кг} + 50 \text{ кг}} \sqrt{(100 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с})^2 + (50 \text{ кг} \cdot 1,5 \text{ м/с})^2} \approx \\ &\approx 0,83 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

Ответ:  $V \approx 0,83 \text{ м/с}$ .

### № 3.

Скорость ракеты будет увеличиваться.

### № 4.

Дано:

$$M = 70 \text{ кг};$$

$$m = 35 \text{ г} = 0,035 \text{ кг};$$

$$v = 320 \text{ м/с};$$

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

Найти  $V$ .

Решение:

$$MV = mv \cos \alpha;$$

$$V = \frac{m}{M} v \cos \alpha = \frac{0,035 \text{ кг}}{70 \text{ кг}} \cdot 320 \text{ м/с} \cdot \frac{1}{2} = 0,08 \text{ м/с}.$$

Ответ:  $V = 0,08 \text{ м/с}$ .

## Упражнение 9.

### № 1.

Дано:

$$F = 3 \text{ Н};$$

$$P = 1 \text{ Н};$$

$$h = 5 \text{ м.}$$

Найти  $A$ .

Решение:

$$A = Fh = 3 \text{ Н} \cdot 5 \text{ м} = 15 \text{ Дж}$$

Ответ:  $A = 15 \text{ Дж}$ .

### № 2.

Дано:

$$m = 97 \text{ кг};$$

$$\alpha = 30^\circ;$$

$$\mu = 0,2;$$

$$l = 100 \text{ м.}$$

Найти  $A$ .

Решение:

Согласно задаче 4 упражнения 7  $T \approx 200 \text{ Н}$ . Тогда

$$A = Tl \approx 200 \text{ Н} \cdot 100 \text{ м} = 2 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

Ответ:  $A \approx 2 \cdot 10^4 \text{ Дж}$ .

### № 3.

Дано:

$$M = 20000 \text{ кг};$$

$$\Delta l = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м};$$

$$\Delta l_1 = 1 \text{ см} = 0,01 \text{ м};$$

$$F_1 = 10000 \text{ Н.}$$

Найти  $V$ .

Решение: По закону сохранения энергии:

$$\frac{MV^2}{2} = \frac{2k\Delta l^2}{2}; \quad k = \frac{F_1}{\Delta l_1}; \quad \frac{MV^2}{2} = \frac{F_1\Delta l^2}{\Delta l_1},$$

$$V = \Delta l \sqrt{\frac{2F_1}{M\Delta l_1}} = 0,1 \text{ м} \sqrt{\frac{2 \cdot 10000 \text{ Н}}{20000 \text{ кг} \cdot 0,01}} = 1 \text{ м/с.}$$

Ответ:  $V = 1 \text{ м/с}$ .

### № 4.

Дано:

$$m = 1 \text{ т} = 1000 \text{ кг};$$

$$l = 20 \text{ м};$$

$$t = 2 \text{ с.}$$

Найти  $N$ .

Решение:

$$A = Fl; \quad ma = F; \quad l = \frac{at^2}{2}; \quad N = \frac{A}{t};$$

$$N = m \frac{2l}{t^2} l \frac{1}{t} = \frac{2ml^2}{t^3} = \frac{2 \cdot 1000 \text{ кг} \cdot (20 \text{ м})^2}{(2 \text{ с})^3} = 10^5 \text{ Вт}$$

Ответ:  $N = 10^5 \text{ Вт}$ .

### № 5.

Дано:

$$v_0 = 4,9 \text{ м/с.}$$

Найти  $h$ .

Решение:

$$\frac{mv_0^2}{2} = 2mgh; \quad h = \frac{v_0^2}{4g} = \frac{(4,9 \text{ м/с})^2}{4 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2} \approx 0,61 \text{ м.}$$

Ответ:  $h = 0,61 \text{ м}$ .

## Упражнение 10.

### № 1.

Дано

$$\alpha = 90^\circ$$

$$F_1 = 500 \text{ Н.}$$

Найти  $F$

Решение:



Из геометрических соображений

$$F = F_1 \sqrt{2} = 500 \text{ Н} \cdot \sqrt{2} \approx 700 \text{ Н.}$$

Ответ:  $F \approx 700 \text{ Н.}$

### № 2.

Дано

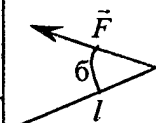
$$l = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м};$$

$$F = 50 \text{ Н}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

Найти  $M$

Решение:



$$M = Fl \sin \alpha = 50 \text{ Н} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot \sin 60^\circ \approx 8,7 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Ответ:  $M \approx 8,7 \text{ Н} \cdot \text{м.}$

### № 3.

Дано

$$F = 4 \text{ Н.}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$M = 3,5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Найти  $l$

Решение:

См. рис. к задаче № 5 упражнения 10.

$$M = Fl \sin \alpha;$$

$$l = \frac{M}{F \sin \alpha} = \frac{3,5 \text{ Н} \cdot \text{м}}{4 \text{ Н} \cdot \sin 60^\circ} \approx 1 \text{ м.}$$

Ответ:  $l \approx 1 \text{ м.}$

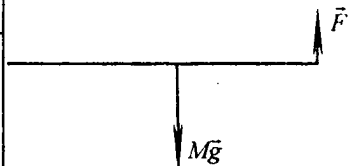
### № 4.

Дано

$$M = 14 \text{ кг}$$

Найти  $F$

Решение:



$$Mg \frac{l}{2} = Fl; \quad F = \frac{Mg}{2} = \frac{14 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2}{2} = 70 \text{ Н.}$$

Ответ:  $F = 70 \text{ Н.}$

№ 5.

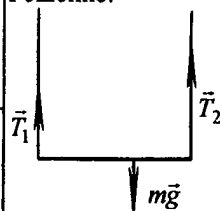
Дано:

$$m = 60 \text{ кг};$$

$$x = \frac{1}{3} l.$$

Найти  $T_1, T_2$

Решение:



$$1) T_1 l = mgx = \frac{1}{3} mgl;$$

$$T_1 = \frac{mg}{3} = \frac{60 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2}{3} = 200 \text{ Н.}$$

$$2) T_2 l = mg(l - x) = \frac{2}{3} mgl;$$

$$T_2 = \frac{2mg}{3} = \frac{2 \cdot 60 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2}{3} = 400 \text{ Н.}$$

Ответ:  $T_1 = 200 \text{ Н}; T_2 = 400 \text{ Н.}$

## Упражнение 11.

### № 1.

Дано:

$$M = 2,7 \text{ кг/моль}$$

$$\rho = 920 \text{ кг/м}^3$$

$$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$$V = 0,02 \text{ см}^3 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$$

$$S_{\max} = ?$$

Решение:

Минимальная толщина пленки равна диаметру молекулы оливкового масла, т.е.

$$V = S_{\max} d, S_{\max} = \frac{V}{d}.$$

Оценим диаметр молекулы масла.

$$d = \sqrt[3]{V_0},$$

где  $V_0$  — объем, приходящийся на одну молекулу.

$$V_0 = \frac{V}{N}; \quad N = N_A \frac{m}{M};$$

$$m = \rho V; \quad d = \sqrt[3]{\frac{VM}{N_A \rho V}} = \sqrt[3]{\frac{M}{N_A \rho}}.$$

Отсюда:

$$S_{\max} = V \cdot \sqrt[3]{\frac{N_A \rho}{M}} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 \cdot \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 920 \text{ кг/м}^3}{2,7 \text{ кг/моль}}} = 11,8 \text{ м}^2.$$

Ответ:  $S_{\max} = 11,8 \text{ м}^2$ .

### № 2.

По таблице Менделеева находим, что относительные атомные массы водорода и гелия равны соответственно:  $M_r(\text{H}) = 1$ ,  $M_r(\text{He}) = 4$ . Химическая формула водорода —  $\text{H}_2$ . Следовательно, его относительная молекулярная масса и молярная масса равны соответственно:  $M_r(\text{H}_2) = 2 \cdot 1 = 2$ ,  $M(\text{H}_2) = 10^{-3} \cdot M_r(\text{H}_2) = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ . Химическая формула гелия —  $\text{He}$ . Следовательно, его относительная молекулярная масса и молярная масса равны соответственно  $M_r(\text{He}) = 4$ ,  $M(\text{He}) = 10^{-3} \cdot M_r(\text{He}) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .

### № 3.

Дано:

$$m_C = 12 \text{ кг}$$

$$M_C = 12 \text{ г/моль} =$$

$$= 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$$

$$m_{\text{O}_2} = 16 \text{ кг}$$

$$M_{\text{O}_2} = 32 \text{ г/моль} =$$

$$= 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$$

Решение:

$$N = \nu N_A;$$

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

$$N_C = N_A \frac{m_C}{M_C},$$

$$\frac{N_C}{N_{O_2}} = ?$$

$$N_{O_2} = N_A \frac{m_{O_2}}{M_{O_2}}$$

Отсюда находим:

$$\frac{N_C}{N_{O_2}} = \frac{m_C M_{O_2}}{m_{O_2} M_C} = \frac{12 \text{ кг} \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}}{16 \text{ кг} \cdot 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}} = 2.$$

Ответ:  $\frac{N_C}{N_{O_2}} = 2.$

№ 4.

Дано:

$$m_{H_2O} = 1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг}$$

$$M_H = 1 \text{ г/моль} = 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$M_O = 16 \text{ г/моль} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$v = ?$

Решение:

$$n = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}}$$

Химическая формула воды —  $H_2O$ , поэтому  $M_{H_2O} = 2M_H + M_O$ .

$$v = \frac{m_{H_2O}}{2M_H + M_O} = \frac{10^{-3} \text{ кг}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} + 16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} \approx 0,056 \text{ моль}.$$

Ответ:  $v \approx 0,056 \text{ моль}.$

№ 5.

Дано:

$$M = 0,028 \text{ кг/моль}$$

$$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$M_0 = ?$

Решение:

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

$$= \frac{M}{N_A} = \frac{0,028 \text{ кг/моль}}{6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг}.$$

Ответ:  $m_0 = 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг}.$

№ 6.

Дано:

$$V = 1 \text{ м}^3$$

$$M = 0,0635 \text{ кг/моль}$$

$$\rho = 9000 \text{ кг/м}^3$$

$$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$N = ?$

Решение:

$$N = v N_A, \quad v = \frac{m}{M},$$

$$m = \rho V, \quad N = \frac{\rho V}{M} N_A =$$

$$= \frac{9000 \text{ кг/м}^3 \cdot 1 \text{ м}^3}{0,0635 \text{ кг/моль}} \cdot 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \approx 8,5 \cdot 10^{28}.$$

Ответ:  $N = 8,5 \cdot 10^{28}.$

### № 7.

Дано:

$$\rho = 3500 \text{ кг/м}^3$$

$$N = 10^{22}$$

$$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$$M = 0,012 \text{ кг/моль}$$

$$V - ?$$

Решение:

Найдем объем алмаза по формуле:

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

где  $m = \nu M$  – масса алмаза,

$\nu$  – количество вещества,

$M$  – молярная масса алмаза.

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

$$V = \frac{M N}{N_A \rho} = \frac{0,012 \text{ кг/моль} \cdot 10^{22}}{6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 3500 \text{ кг/м}^3} = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$$

Ответ:  $V = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$ .

### № 8.

Дано:

$$\overline{v^2} = 10^6 \text{ м}^2/\text{с}^2$$

$$n = 3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$$

$$m_0 = 5 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

$$p - ?$$

Решение:

Запишем основное уравнение молекулярно-

кинетической теории газа:  $p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2} =$

$$= \frac{1}{3} \cdot 5 \cdot 10^{-26} \text{ кг} \cdot 3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3} \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}^2 = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Ответ:  $p = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

### № 9.

Дано:

$$V = 1,2 \text{ л} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$N = 3 \cdot 10^{22}$$

$$p = 10^5 \text{ Па}$$

$$\overline{E} - ?$$

Решение:

Согласно уравнению 8.15 § 65 учебника:

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E},$$

где  $n = \frac{N}{V}$  – концентрация газа.

Отсюда:  $\overline{E} = \frac{3}{2} \frac{p}{n} = \frac{3}{2} \frac{pV}{N} = \frac{3 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{2 \cdot 3 \cdot 10^{22}} = 6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$

Ответ:  $\overline{E} = 6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$

**№ 10.**

Дано:

$m = 6 \text{ кг}$

$V = 4,9 \text{ м}^3$

$p = 200 \text{ кПа} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$

$\overline{v^2} = ?$

Решение

Воспользуемся основным уравнением молекулярно-кинетической теории:

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2},$$

где  $n = \frac{N}{V}$  – концентрация газа,  $N = \frac{m}{m_0}$  – количество молекул газа в объеме  $V$

Отсюда находим:

$$\overline{v^2} = \frac{3p}{m_0 n} = \frac{3pV}{m_0 N} = \frac{3pV}{m} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 4,9 \text{ м}^3}{6 \text{ кг}} = 4,9 \cdot 10^5 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$$

Ответ:  $\overline{v^2} = 4,9 \cdot 10^5 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}.$

## Упражнение 12.

### № 1.

Дано:

$$T_n = \frac{T}{2}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

$$k_n = ?$$

Решение:

Единица температуры в СИ увеличилась в 2 раза, т.е. температуре, равной 2К в старых единицах, соответствует 1К в новых единицах.

Следовательно, старая  $T$  и новая  $T_n$  температуры связаны соотноше-

$$\text{нием: } T_n = \frac{T}{2}$$

Температура – мера средней кинетической энергии молекул, так как

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT. \quad \bar{E} \text{ измеряется в джоулях и от изменения температурных}$$

$$\text{единиц не зависит, т.е. } \bar{E} = \frac{3}{2} kT = \text{const, т.е. } k_n T_n = kT$$

Отсюда находим

$$k_n = k \frac{T}{T_n} = 2k = 2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 2,76 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$\text{Ответ: } k_n = 2,76 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К.}$$

### № 2.

Дано:

$$p = 1,3 \cdot 10^{-10} \text{ Па}$$

$$V = 1 \text{ см}^3 = 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$T = 27^\circ \text{C} = 300 \text{ К}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

$$N = ?$$

Решение:

Зависимость давления газа от концентрации его молекул и температуры выражается формулой 9.10 § 68 учебника:  $p = nkT$ ,

где  $n = \frac{N}{V}$  – концентрация газа.

$$\text{Отсюда: } p = \frac{N}{V} kT,$$

$$N = \frac{pV}{kT} = \frac{1,3 \cdot 10^{-10} \text{ Па} \cdot 10^{-6} \text{ м}^3}{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 300 \text{ К}} = 3,14 \cdot 10^4$$

$$\text{Ответ: } N = 3,14 \cdot 10^4$$

### № 3.

Дано:

$$v = 540 \text{ м/с}$$

$$T = 20^\circ \text{C} = 293 \text{ K}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

$$m_0 = ?$$

Решение.

Согласно формуле 9.12 § 69 учебника,

$$\text{запишем: } \bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

Отсюда выражаем  $m_0$ .

$$m_0 = \frac{3kT}{v^2} = \frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 293 \text{ K}}{(540 \text{ м/с})^2} = 5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$$

$$\text{Ответ: } m_0 = 5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$$

### № 4.

Дано:

$$T_1 = 37^\circ \text{C} = 310 \text{ K}$$

$$T_2 = 40^\circ \text{C} = 313 \text{ K}$$

$$z = ?$$

Решение:

$$\eta = \frac{\bar{v}_2 - \bar{v}_1}{\bar{v}_1} \cdot 100\% = \left( \frac{\bar{v}_2}{\bar{v}_1} - 1 \right) \cdot 100\%$$

Согласно формуле 9.12 § 69 учебника, запишем  $\bar{v}_2 = \sqrt{\frac{3kT_2}{m_0}}$

$$\bar{v}_1 = \sqrt{\frac{3kT_1}{m_0}} \quad \text{Отсюда находим}$$

$$\eta = \left( \sqrt{\frac{3kT_2/m_0}{3kT_1/m_0}} - 1 \right) \cdot 100\% = \left( \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} - 1 \right) \cdot 100\% = \left( \sqrt{\frac{313 \text{ K}}{310 \text{ K}}} - 1 \right) \cdot 100\% \approx$$

$$\approx 0,5\%$$

$$\text{Ответ: } \eta \approx 0,5 \%$$

## Упражнение 13.

### № 15.

Дано:

$$p_0 = 100 \text{ кПа} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$V = 100 \text{ л} = 10^{-1} \text{ м}^3$$

$$p = 5 \text{ МПа} = 5 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$V_1 = 100 \text{ см}^3 = 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$m = \text{const}$$

$$T = \text{const}$$

$$n = ?$$

Решение:

За 1 с воздух объема  $V$  поступает в компрессор. Объем воздуха, поступающего за 1 с к отбойным молоткам под давлением  $p$  равен  $nV_1$ , где  $n$  – число отбойных молотков.

Предположим, что воздух в компрессоре не нагревается (т.е. его температура не меняется). В этом случае можно использовать закон Бойля-Мариотта.

$$p_0 V = p n V_1 \Rightarrow n = \frac{p_0 V}{p V_1} = \frac{1 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 10^{-1} \text{ м}^3}{5 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot 10^{-4} \text{ м}^3} = 20$$

Ответ:  $n = 20$ .

### № 2.

Дано:

$$m = 2 \text{ г} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$M = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$T = 0^\circ \text{C} = 273 \text{ К}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

$$m = \text{const}$$

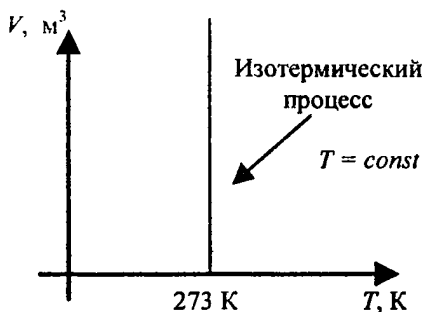
$$T = \text{const}$$

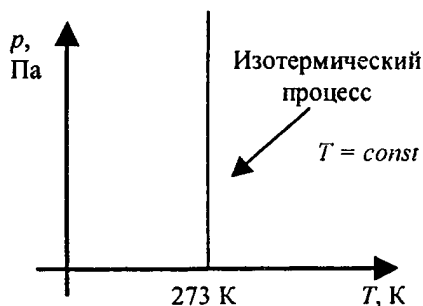
$$V(T), p(T), p(V) = ?$$

Решение:

В координатах  $V, T$  и  $p, T$  изотермы представляют собой вертикальные прямые  $T = 273 \text{ К}$ .

В координатах  $p, V$  изотерма представляет собой гиперболу  $pV = \text{const}$  (закон Бойля-Мариотта).





Согласно закону Менделеева-Клайперона:  $pV = \frac{m}{M} RT$ .

Отсюда получаем:

$$pV = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} \times 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 273 \text{ К} \approx 2270 \text{ Дж.}$$

Теперь построим график функции:  $p(V) = \frac{2270}{V}$ .

№	$V, \text{ м}^3$	$p, \text{ Па}$
1	7	324,1
2	324,1	7
3	39	58,2
4	58,2	39



### № 3.

Дано

$$\Delta T = 1 \text{ K}$$

$$\frac{\Delta p}{p_1} 100\% = 0,4\%$$

$$V = \text{const}$$

$$m = \text{const}$$

$$T_2 = ?$$

$$\frac{\Delta p}{p} = \frac{0,4\%}{100\%} = 4 \cdot 10^{-3}.$$

Отсюда

$$\frac{p_1}{T_2 - \Delta T} = \frac{p_1 + \Delta p}{T_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_2 = \left( \frac{p_1}{\Delta p} + 1 \right) \Delta T =$$

$$= \left( \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} + 1 \right) \cdot 1 \text{ K} = 250 \text{ K}.$$

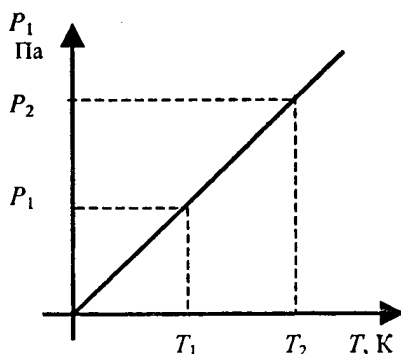
$$\text{Ответ } T_2 = 250 \text{ K}.$$

Решение:

Поскольку процесс происходит в закрытом сосуде, то  $m = \text{const}$  и  $V = \text{const}$ . Это означает, что процесс является изохорным. Согласно закону

$$\text{Шарля, запишем: } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

$$\text{По условию задачи: } p_2 = p_1 + \Delta p,$$



### № 4.

Дано

$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

$$p = 101325 \text{ Па} =$$

$$= 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$T = 273 \text{ K}$$

$$V = ?$$

Решение:

Запишем уравнение состояния идеального газа:

$$pV = \nu RT \Rightarrow V = \frac{\nu RT}{p} =$$

$$V = \frac{1,8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 273 \text{ K}}{1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}} = 2,24 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3.$$

$$\text{Ответ } V = 2,24 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3.$$

### № 5.

Дано

$$T = 273 \text{ K}$$

$$p = 101325 \text{ Па} =$$

$$= 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$M = 0,029 \text{ кг/моль} =$$

$$= 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

$$m = ?$$

Решение:

Воспользуемся уравнением состояния идеального газа:  $pV = \frac{m}{M} RT$ . Отсюда находим:

$$V = \frac{m}{pM} RT. \text{ Найдем плотность воздуха } \rho \text{ в}$$

$$\text{классе: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} =$$

$$= \frac{1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 293 \text{ К}} = 1,21 \text{ кг/м}^3$$

Теперь можно определить массу воздуха в классе. Для этого необходимо вычислить объем воздуха в классе. Пусть площадь класса  $100 \text{ м}^2$ , высота потолков  $4 \text{ м}^2$ . Тогда  $V = 400 \text{ м}^3$  и

$$m = \rho V = 1,21 \text{ кг/м}^3 \cdot 400 \text{ м}^3 = 484 \text{ кг}.$$

Ответ:  $m = 484 \text{ кг}$ .

№ 6.

Дано:

$$V_1 = 0,03 \text{ м}^3$$

$$p_1 = 1,35 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$T_1 = 455^\circ \text{C} = 728 \text{ К}$$

$$p_2 = 101325 \text{ Па}$$

$$T_2 = 0^\circ \text{C} = 273 \text{ К}$$

$$m = \text{const}$$

$$V_2 = ?$$

$$\text{Ответ: } V_2 = 0,15 \text{ м}^3.$$

Решение:

Запишем для данного газа уравнение Менделеева-Клапейрона:

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

$$= \frac{1,35 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot 273 \text{ К}}{101325 \text{ Па} \cdot 728 \text{ К}} \cdot 0,03 \text{ м}^3 \approx 0,15 \text{ м}^3$$

№ 7.

Дано:

$$h = 7134 \text{ м}$$

$$p_1 = 3,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$T = 10^\circ \text{C} = 273 \text{ К}$$

$$\rho_2 = 1,29 \cdot \text{кг/м}^3$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

$$p_2 = 10^5 \text{ Па}$$

$$p_1 = ?$$

Решение:

Воспользуемся уравнением состояния идеального газа:  $pV = \frac{m}{M} RT$ . Отсюда находим

$$c = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}. \quad \text{Для двух состояний плотности}$$

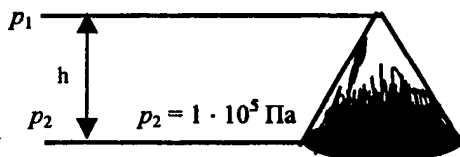
$$\text{равны: } c_1 = \frac{p_1 M}{RT}, \quad c_2 = \frac{p_2 M}{RT}.$$

$$c_1 = \frac{p_1}{p_2} c_2 =$$

$$= \frac{3,8 \cdot 10^4 \text{ Па}}{10^5 \text{ Па}} \cdot 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \approx$$

$$\approx 0,49 \text{ кг/м}^3.$$

$$\text{Ответ: } \rho_1 \approx 0,49 \text{ кг/м}^3.$$

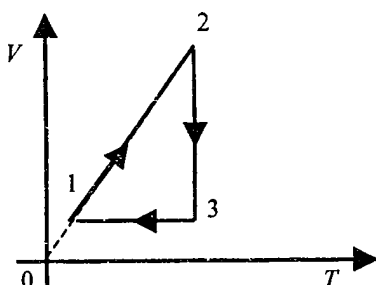


# № 8.

Любой процесс изменения состояния идеального газа протекает в соответствии с уравнением Менделеева-Клайперона:

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R = \text{const} \quad (1).$$

Процесс 1-2 изображен на графике как отрезок прямой, проходящей через начало координат:



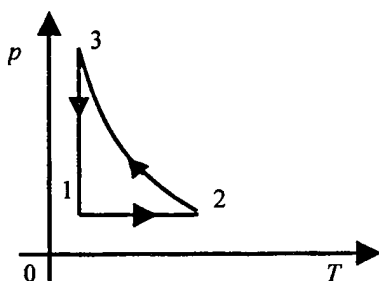
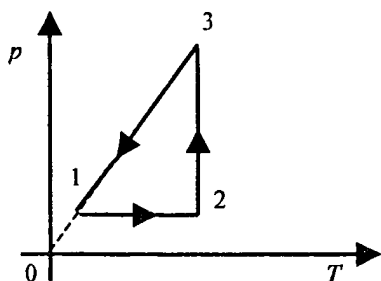
$V = \gamma T$ , где  $\gamma = \text{const}$  – некоторый коэффициент пропорциональности. В координатах  $p, V$  уравнение данного процесса выглядит, согласно (1), следующим образом:

$$p = \frac{m}{M} R \frac{T}{V} = \frac{mR}{M\gamma} = \text{const}.$$

Из этого уравнения видно, что процесс 1 - 2 – изобарный, т.е.  $p_2 = p_1$ . В координатах  $p, V$  и  $p, T$  он изображается горизонтальным отрезком, параллельным оси  $Op$ . Из графика в координатах  $V, T$  видно  $T_2 > T_1, V_2 > V_1$ , что определяет направление процесса.

Процесс 2 - 3, как видно из рисунка, изотермический,  $T_3 = T_2$ . В координатах  $p, T$  он изображается вертикальным отрезком, параллельным оси  $OT$ , в координатах  $p, V$  – гиперболой. Из рисунка видно, что  $V_3 < V_2$ , и, согласно уравнению Менделеева-Клайперона (1),  $p_3 > p_2$ , что определяет направление процесса в координатах  $p, V$  и  $p, T$ .

Процесс 3 - 1 – изохорный, так как  $V_3 = V_1$ . В координатах  $p, V$  изображается вертикальным отрезком, параллельным оси  $OV$ , а в  $p, T$  (согласно (1)) отрезком прямой, проходящей через начало координат. Из рисунка видно, что  $T_3 > T_1$  и, соответственно,  $p_3 > p_1$ .



### № 9.

Дано:

$R, T, M$

$\bar{v} = ?$

Решение:

Воспользуемся основным уравнением молекулярно-кинетической теории и уравнением Менделеева-Клапейрона:

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}; \quad pV = \frac{m}{M} RT \quad \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2} V = \frac{m}{M} RT, \quad n = \frac{N}{V}.$$

$$\frac{1}{3} m_0 N \overline{v^2} = \frac{m}{M} RT. \quad m = m_0 N, \quad \frac{1}{3} \overline{v^2} = \frac{RT}{M}, \quad \bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}.$$

Ответ:  $\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}.$

### № 10.

Пусть  $p_1, V_1, T_1$  — давление, объем и температура газа в начальном состоянии,  $p_2, V_2, T_2$  — давление, объем и температура газа в конечном состоянии. Согласно уравнению Клапейрона-Менделеева

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{const.} \quad \text{Отсюда:} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}.$$

Так как по условию задано  $p_1 > p_2$  и  $T_2 > T_1$ , то  $\frac{V_2}{V_1} > 1$ , т.е.  $V_2 > V_1$ . Таким образом, при пере-

ходе газа из одного состояния в другое при данных условиях объем газа увеличивается.

## Упражнение 14.

### № 1.

При опускании сосуда с водой в шахту внешнее давление увеличивается. А чем выше давление на жидкость, тем и выше температура кипения соответственно.

### № 2.

Дано:

$$p_{\text{атм}} = 101325 \text{ Па}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

$$M = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$$

$$T = 373 \text{ К} = 3,73 \cdot 10^2 \text{ К}$$

$\rho = ?$

Решение:

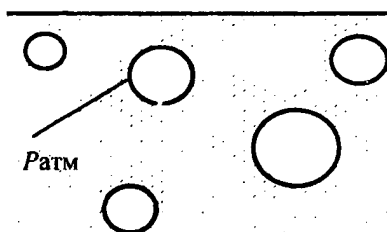
При кипении давление насыщенного пара внутри пузырька равно давлению в жидкости. Запишем закон Менделеева-Клайперона для насыщенного пара

$$pV = \frac{RT}{M}, \quad p = p_{\text{атм}}.$$

Отсюда получаем:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p_{\text{атм}} M}{RT} = \frac{101325 \text{ Па} \cdot 0,018 \text{ кг/моль}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 373 \text{ К}} \approx 0,59 \text{ кг/м}^3$$

$p_{\text{атм}}$



Ответ:  $\rho \approx 0,59 \text{ кг/м}^3$ .

### № 3.

В данном случае открытие форточки приведет к изменению температуры, влажности, появлению конвекции. Пониженная температура замедляет высыхание, но конвекция ускоряет. Допустим, что в комнате до открывания форточки и на улице одинаковые относительные влажности  $\phi$ , тогда парциальное давление водяного пара  $\phi \cdot p_{\text{нк}}$  будет в комнате больше, чем парциальное давление водяного пара  $\phi \cdot p_{\text{ну}}$  на улице, т.е.  $p_{\text{нк}} > p_{\text{ну}}$ . В итоге пар из комнаты будет выходить, и влажность уменьшится, ускоряя процесс высыхания белья. Если пренебречь изменением температуры, появлением конвекции, а также предположить абсолютную влажность в комнате большую, чем на улице, то с открытием форточки скорость высыхания белья увеличится.

№ 4.

Дано:

$$T = 293 \text{ K}$$

$$\varphi_1 = 20\%$$

$$\varphi_2 = 50\%$$

$$V = 40 \text{ м}^3$$

$$\rho_0 = 1,73 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$$

$$T = \text{const}$$

$$\Delta m = ?$$

Решение:

$$\varphi_1 = \frac{p_1}{p_0} \cdot 100\%,$$

$$\varphi_2 = \frac{p_2}{p_0} \cdot 100\%.$$

По уравнению состояния идеального газа.

$$p_n = \frac{\rho_0 RT}{M} \Rightarrow p_n = \frac{\rho_0 RT}{M}, \frac{p_n}{p_0} = \frac{c_n}{c_0},$$

$$n = 1, 2.$$

Следовательно, относительную влажность можно вычислить по формуле:

$$\varphi = \frac{c_n}{c_0} \cdot 100\%,$$

где  $\rho_n$  — плотность пара,

$\rho_0$  — плотность насыщенного пара.

Согласно этой формуле, запишем:

$$\varphi_1 = \frac{c_1}{c_0} \cdot 100\% \quad (1), \quad \varphi_2 = \frac{c_2}{c_0} \cdot 100\% \quad (2).$$

Вычтем из (2) выражение (1) и найдем изменение плотности паров

$$\text{воды в комнате: } \Delta \rho = \frac{(\varphi_2 - \varphi_1) \rho_0}{100\%}. \text{ Отсюда находим:}$$

$$\begin{aligned} \Delta m &= m_2 - m_1 = c_2 V - c_1 V = \Delta \rho V = \frac{(\varphi_2 - \varphi_1) \rho_0 V}{100\%} = \\ &= \frac{(50\% - 20\%) \cdot 1,73 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3 \cdot 40 \text{ м}^3}{100\%} \approx 0,21 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Ответ:  $\Delta m \approx 0,21 \text{ кг.}$

## Упражнение 15.

### № 1.

Дано	Решение:
$p_2 = 3p$	Внутренняя энергия $U$ одноатомного идеального газа
$V_2 = \frac{1}{2} V$	определяется формулой: $U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$
$\frac{U_2}{U} = ?$	Вспользуемся уравнением состояния идеального га- за: $p_1 V_1 = \frac{m}{M} RT_1, \quad p_2 V_2 = \frac{m}{M} RT_2 \Rightarrow$
	$\Rightarrow U = \frac{3}{2} p_1 V_1, \quad U_2 = \frac{3}{2} p_2 V_2 \Rightarrow \frac{U_2}{U} = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = \frac{3 p_1 V_2 / 2}{p_1 V_1} = \frac{3}{2} = 1,5.$

Ответ  $U_2/U_1 = 1,5$  – внутренняя энергия одноатомного идеального газа увеличится в 1,5 раза.

### № 2.

Дано	Решение:
$Q = 200$ Дж	Согласно первому закону термодинамики:
$A = 400$ Дж	$Q = A + \Delta U.$
$\Delta U = ?$	Отсюда находим: $\Delta U = Q - A = 200 \text{ Дж} - 400 \text{ Дж} = -200 \text{ Дж}.$
	Ответ: $\Delta U = -200 \text{ Дж}.$

### № 3.

Дано	Решение:
$m_2 = 0,5 \text{ г} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$	Газ совершает работу по перемещению
$m_1 = 0,1 \text{ г} = 10^{-4} \text{ кг}$	поршня, действуя на него с силой $pS$ , где
$T = 300 \text{ К}$	$S$ – площадь поршня. Тогда работа газа
$p = \text{const}, T = \text{const}$	может быть записана в виде:
$M = 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$	$A = pS\Delta h = p\Delta V = p(V_2 - V_1),$ где $\Delta h$ –
$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$	расстояние, на которое сдвинулся пор-
$A = ?$	шень за один ход, $\Delta V$ – изменение объе- ма газа.

Для вычисления  $\Delta V$  воспользуемся уравнением состояния идеаль-

ного газа:  $pV = \frac{m}{M} RT,$

$$V_2 = \frac{m_2}{M} \frac{RT}{p}, \quad V_1 = \frac{m_1}{M} \frac{RT}{p};$$

$$A = \frac{(m_2 - m_1)}{M} RT = \frac{(5 - 1) \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль}) \cdot 300 \text{ К}}{2,9 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}} \approx 34,4 \text{ Дж}.$$

Ответ  $A \approx 34,4 \text{ Дж}.$

**№ 4.**

Пусть  $N$  – мощность, получаемая от нагревателя. Тогда можно записать:  $N\Delta t_1 = c_1 m_1 \Delta T$ ,  $N\Delta t_2 = c_2 m_2 \Delta T$ ,  $c_1$  и  $c_2$  – теплоемкости воды и воздуха,  $m_1$  и  $m_2$  – массы воды и воздуха,  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  – времена нагревания воды и воздуха,  $\Delta T = 50^\circ \text{C}$  – изменение температуры. Отсюда находим:  $\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{c_2 m_2}{c_1 m_1} = \frac{c_2 c_2}{c_1 c_1} < 1$ , т.е.  $\Delta t_2 < \Delta t_1$ . Таким образом, воздух нагреется быстрее.

**№ 5.**

Согласно закону сохранения энергии совершение системой работы невозможно без изменения ее внутренней энергии либо без поступления энергии извне, значит, предложенный вариант вечного двигателя не будет работать. Расход внутренней энергии будет означать стремление системы к равновесию и, следовательно, остановки двигателя. Если судить по рисунку, то обмен водой между отсеками двигателя сопровождается поступлением воздуха из нижнего отсека в верхний, что несомненно приведет к увеличению давления  $p_1$  в верхнем отсеке и уменьшением в нижнем  $p_2$ . С течением времени разность давлений  $\Delta p = p_2 - p_1$  приравняется к нулю, и двигатель встанет.

**№ 6.**

Вернемся к задаче 11 упражнения 13, в которой рисунок перерисован в координатах  $p$ ,  $V$  и  $p$ ,  $T$ . Процесс 1–2 – изобарный, объем газа увеличился  $V_2 > V_1$ . При этом газ совершил положительную работу  $A = p_1 \Delta V = p_1 (V_2 - V_1)$ . Кроме того, увеличилась температура газа  $T_2 > T_1$ , т.е. увеличилась его внутренняя энергия

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R (T_2 - T_1).$$

Согласно уравнению состояния идеального газа:  $pV = \frac{m}{M} RT$  и  $\Delta U = \frac{3}{2} p_1 (V_2 - V_1)$ . Соответственно, в этом процессе газ получил положительную теплоту:

$$Q_{12} = \Delta U + A = \frac{5}{2} p_1 (V_2 - V_1) > 0.$$

Процесс 2–3 – изотермический. Это значит, что внутренняя энергия газа не изменилась:  $\Delta U = 0$ . При этом объем газа уменьшился, т.е. газ совершил отрицательную работу:  $A < 0$ . При этом газ отдает теплоту  $Q_{23} = A < 0$ . Процесс 3–1 – изохорный, что означает, что газ работы не совершил:  $A = 0$ . При этом температура газа уменьшилась  $T_3 < T_1$ , что означает уменьшение внутренней энергии газа:  $\Delta U < 0$ . Соответственно, при этом газ отдает теплоту:  $Q_{31} = \Delta U < 0$ .

№ 7.

Дано:

$$V = \text{const}$$

$$m = 4 \text{ кг}$$

$$\Delta T = 100 \text{ К}$$

$$M = 0,004 \text{ кг/моль}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

$$Q = ?$$

Ответ:  $Q \approx 1,25 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ .

Решение:

При изохорном процессе ( $V = \text{const}$ ):

$$A = 0, Q = \Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT =$$

$$= \frac{3 \cdot 4 \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль}) \cdot 100 \text{ К}}{2 \cdot 0,004 \text{ кг/моль}} \approx$$

$$\approx 1,25 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

№ 8.

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$p = \text{const}$$

$$\Delta T = 10 \text{ К}$$

$$c = 1400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$M = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

$$\Delta U = ?$$

$$= (1400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} - \frac{8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})}{2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}}) \cdot 2 \text{ кг} \cdot 10 \text{ К} = 2 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

Ответ:  $\Delta U = 2 \cdot 10^5 \text{ Дж}$ .

Решение:

$$Q = \Delta U + A, \Delta U = Q - A,$$

где  $A = p\Delta V$  – работа, совершенная газом.

$$pV = \frac{m}{M} RT, \Delta V = \frac{m}{M} \frac{R\Delta T}{p}, A = \frac{m}{M} R\Delta T.$$

$Q = cm\Delta T$ , где  $c$  – удельная теплоемкость.

Отсюда находим:

$$\Delta U = (c - \frac{R}{M})m\Delta T =$$

№ 9.

Дано:

$$A = 500 \text{ Дж}$$

$$\nu = 4 \text{ моль}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

$$Q = 0$$

$$\Delta T = ?$$

Ответ:  $\Delta T \approx 10 \text{ К}$ .

Решение:

При адиабатном процессе:

$$Q = 0,$$

$$\Delta U = A = \frac{3}{2} \nu R\Delta T.$$

Отсюда находим:

$$\Delta T = \frac{2A}{3\nu R} = \frac{2 \cdot 500 \text{ Дж}}{3 \cdot 4 \text{ моль} \cdot 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})} \approx 10 \text{ К}.$$

### № 10.

Дано:

$$m_1 = 0,4 \text{ кг} = 4 \cdot 10^{-1} \text{ кг}$$

$$m_2 = 0,6 \text{ кг} = 6 \cdot 10^{-1} \text{ кг}$$

$$T_1 = 283 \text{ К}$$

$$T_2 = 233 \text{ К}$$

$$c_1 = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_2 = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\lambda = 3,34 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$T - ?$$

Решение:

Сравним энергию, которую должна отдать вода для охлаждения ее до  $0^\circ\text{C} =$

$$= 273 \text{ К} = T_0: Q_1 = c_1 m_1 (T_0 - T_1),$$

и энергию, необходимую для нагревания льда до  $T_0 = 273 \text{ К}$ :  $Q_2 = c_2 m_2 (T_2 - T_0)$

$$Q_1 = 1,68 \cdot 10^4 \text{ Дж},$$

$$Q_2 = 5,04 \cdot 10^4 \text{ Дж}.$$

$$Q_2 > Q_1.$$

Это означает, что даже когда вся вода охладится до  $T_0 = 0^\circ\text{C}$ , и все тепло, высвободившееся при этом, перейдет ко льду, его температура останется отрицательной. Значит, часть воды (или даже вся вода) должна кристаллизоваться.

Вычислим  $Q_3$  – теплоту, которую необходимо отнять у воды для того, чтобы вся вода перешла в лед.

$$Q_3 = Q_1 + \lambda m_1 = 1,68 \cdot 10^4 \text{ Дж} + 3,34 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0,4 \text{ кг} \approx 1,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

$Q_3 > Q_2$  — это означает, что не вся вода может кристаллизоваться.

После установления равновесия в калориметре будут одновременно существовать две фазы – лед и вода при температуре  $T = 273 \text{ К}$ .

Ответ:  $T = 273 \text{ К}$ .

### № 11.

Дано:

$$\eta_{\max} = 80\%$$

$$T_x = 300 \text{ К}$$

$$T_n - ?$$

Решение:

КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, равен:

$$\eta_{\max} = \frac{T_n - T_x}{T_n} \cdot 100\%,$$

где  $T_n$  – температура нагревателя,

$T_x$  – температура холодильника.

$$\frac{\eta_{\max}}{100\%} = 1 - \frac{T_x}{T_n},$$

$$T_n = \frac{T_x}{1 - \frac{\eta_{\max}}{100\%}} = \frac{300 \text{ К}}{1 - 80\%/100\%} = 1500 \text{ К}.$$

Ответ:  $T_n = 1500 \text{ К}$ .

**№ 12.**

Дано:

$$Q_1 = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

$$Q_2 = -1,2 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

$$T_H = 523 \text{ К}$$

$$T_X = 303 \text{ К}$$

$$\eta - ? \quad \eta_{\max} - ?$$

Решение:

По определению КПД:

$$\varepsilon = \frac{A}{|Q_1|} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} \cdot 100\% = \frac{(1,5 - 1,2) \cdot 10^6}{1,5 \cdot 10^6} \cdot 100\% =$$

$$= 20 \%$$

Максимальный КПД достигается в том случае, если тепловая машина работает по циклу Карно, и равен:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{T_H - T_X}{T_H} \cdot 100\% = \frac{523 \text{ К} - 303 \text{ К}}{523 \text{ К}} \cdot 100\% \approx 42\%$$

Ответ:  $\eta = 20 \%$ ,  $\eta_{\max} \approx 42 \%$ .

## Упражнение 16.

### № 1.

Дано:

$$r = 0,5 \cdot 10^{-8} \text{ см} =$$

$$= 5 \cdot 10^{-11} \text{ м}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$

$F = ?$

$$= 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ Н.}$$

Ответ:  $F = 9,2 \cdot 10^{-8} \text{ Н.}$

Решение:

Согласно закону Кулона:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_p| |e|}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} =$$

$$= \frac{1}{4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / \text{Н} \cdot \text{м}^2} \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл})^2}{(5 \cdot 10^{-11} \text{ м})^2} =$$

### № 2.

Дано:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$r = 1 \text{ км} = 10^3 \text{ м}$$

$$m = 0,03 \text{ г} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ кг}$$

$$\eta = 1\%$$

$$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$$M = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

$F_k = ?$

Решение:

Согласно закону Кулона сила притяжения капля воды будет равна:  $F_k = k \frac{q^2}{r^2}$

Найдем модуль зарядов каплей:

$q = \frac{\eta}{100\%} q_n$ , где  $q_n$  – общий заряд всех электронов во второй капле воды.

В молекуле воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ) содержится 10 электронов: 8 – кислорода, 2 – водорода. Следовательно,  $q_n = 10 \cdot e \cdot N$ , где  $N = N_A \frac{m}{M}$  – число молекул.

$$q = \frac{\eta \cdot 10 \cdot e \cdot N_A \cdot m}{100\% \cdot M}, \quad F_k = k \frac{10^2 \cdot e^2 \cdot N_A^2 \cdot m^2}{M^2 \cdot r^2} \left( \frac{\eta}{100\%} \right)^2 =$$

$$F_k = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 10^2 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot (6 \cdot 10^{23})^2 \cdot (3 \cdot 10^{-5})^2}{(0,018)^2 \cdot 10^6 \cdot 10^4} \approx 2,3 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

### № 3.

Дано:

$$q_1 = 9 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_2 = -2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$r = 40 \text{ см} = 4 \cdot 10^{-1} \text{ м}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

$F_{k1} = ?$   $F_{k2} = ?$

Решение:

До соприкосновения заряды шариков противоположны  $q_1 > 0$ ,  $q_2 < 0$ , поэтому шарики притягиваются с силой:

$$F_{k1} = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} =$$

$$= \frac{9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2 \cdot 9 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \cdot 2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}}{(4 \cdot 10^{-1} \text{ м})^2} \approx 10^{-6} \text{ Н}.$$

После соприкосновения заряды шариков стали одинаковыми. Так как система из двух шариков замкнутая, для нее выполняется закон сохранения алгебраической суммы заряда:  $q_1 + q_2 = 2q$ ,  $q = \frac{q_1 + q_2}{2}$ .

Шарики отталкиваются с силой  $F_{к2} = k \frac{q^2}{r^2} =$

$$= k \frac{(q_1 + q_2)^2}{4r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2 ((9 - 2) \cdot 10^{-9} \text{ Кл})^2}{4 \cdot (4 \cdot 10^{-1} \text{ м})^2} \approx 6,9 \cdot 10^{-7} \text{ Н}.$$

Ответ:  $F_{к1} \approx 10^{-6} \text{ Н}$ ,  $F_{к2} \approx 6,9 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ .

№ 4.

Дано:

$$q_1 = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$q_2 = 2,0 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

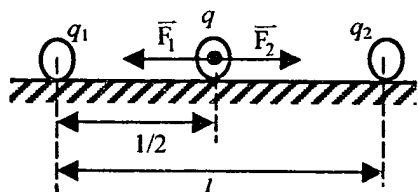
$$l = 1 \text{ м}$$

$$q = -3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$$

$$F = ?$$

Решение:



На заряд  $q$  со стороны заряда  $q_2$  действует сила притяжения:

$$F_2 = k \frac{4 \cdot |q| \cdot |q_2|}{l^2}. \text{ Со стороны заряда } q_1 \text{ сила притяжения:}$$

$$F_1 = k \frac{4 \cdot |q| \cdot |q_1|}{l^2}, \text{ направленная в противоположную сторону. Равнодействующая этих сил направлена в сторону второго заряда (так как } q_2 > q_1) \text{ и равна:}$$

$$F = F_2 - F_1 = \frac{k \cdot 4 \cdot |q|}{l^2} (|q_2| - |q_1|)$$

$$F = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}}{(1 \text{ м})^2} ((2 - 1) \cdot 10^{-8} \text{ Кл}) \approx 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Н}.$$

Ответ:  $F \approx 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$ .

## Упражнение 17.

### № 1.

Дано:

$$E = 1,3 \cdot 10^5 \text{ В/м}$$

$$m = 2 \cdot 10^{-12} \text{ кг}$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$q - ? \quad n - ?$$

Решение:

На капельку действуют сила тяжести  $\vec{F}_T$  и кулоновская сила  $\vec{F}_K$ :

$$\vec{F}_T = m\vec{g}, \quad \vec{F}_K = q\vec{E},$$

Так как капелька находится в равновесии, то равнодействующая всех сил, действующих на нее, равна 0. На капельку действуют сила тяжести  $\vec{F}_T$  и кулоновская сила  $\vec{F}_K$ :  $\vec{F}_T = m\vec{g}$ ,  $\vec{F}_K = q\vec{E}$ .

$$\vec{F}_T + \vec{F}_K = 0, \quad mg + qE = 0, \quad q = -\frac{mg}{E} = -\frac{2 \cdot 10^{-12} \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{1,3 \cdot 10^5 \text{ В/м}} \approx$$

$$\approx -1,5 \cdot 10^{-16} \text{ Кл.}$$

$$n = \frac{q}{q_e}, \quad n = \frac{mg}{E \cdot |q_e|} = \frac{2 \cdot 10^{-12} \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{1,3 \cdot 10^5 \text{ В/м} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} \approx 940$$

Ответ:  $n \approx 940$ .

### № 2.

Как мы знаем, электрическое поле возникает вокруг любого заряженного тела (в задаче – расчески). Оно действует на нейтральные кусочки бумаги, являющиеся полярными диэлектриками. Несмотря на то, что в целом кусочек электронейтрален, в каждом кусочке происходит поляризация (т.е. перемещение зарядов). Та поверхность бумаги к которой подносится расческа имеет противоположный знак заряда расчески. Расческа пластмассовая, значит заряжена она отрицательно. То есть та часть бумаги, которая лежит ближе к расческе имеет положительный заряд, а противоположная – отрицательный.

### № 3.

Заряд  $q_2 > 0$  создает в окружающем пространстве радиально-симметричное электрическое поле, направленное от заряда. Напряженность электрического поля равна  $E = k \frac{|q_2|}{r^2}$ . Заряд  $q_1$  тоже положительный, поэтому сила, с которой поле заряда  $q_2$  действует на заряд  $q_1$ , направлена так же как и напряженность поля  $\vec{E}$ . На участке  $AB$  заряд  $q_1 > 0$  перемещается в поле заряда  $q_2 > 0$  вдоль силовой

линии поля, то есть по направлению напряженности поля  $\vec{E}$ . При этом поле совершает положительную работу. Ее значение можно вычислить с помощью закона сохранения энергии:

$$A_{AB} = -(W_{pB} - W_{pA}) = -q_1(\varphi_B - \varphi_A),$$

где  $W_{pB}$ ,  $W_{pA}$  — энергия заряда  $q_1$  в поле заряда  $q_2$  в точках  $A$  и  $B$ , а  $\varphi_B$ ,  $\varphi_A$  — потенциал поля заряда  $q_2$  в точках  $A$  и  $B$ . Потенциал поля точечного заряда  $q_2$  равен:  $\varphi_B = \frac{kq_2}{r_2}$ ,  $\varphi_A = \frac{kq_2}{r_1}$ , где  $r_1$ ,  $r_2$  — расстояния от заряда  $q_2$  до точек  $A$  и  $B$ .

$$A_{AB} = -q_1 \left( k \frac{q_2}{r_2} - \frac{kq_2}{r_1} \right) = kq_1q_2 \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right),$$

Так как  $r_1 < r_2$ , то  $A_{AB} > 0$ . При этом потенциальная энергия системы уменьшилась:  $W_{pB} = W_{pA} - A_{AB} < W_{pA}$ . На участке  $CD$  заряд  $q_2$  движется противоположно направлению силовых линий поля. При этом совершается работа  $A_{CD} < 0$ . В этом случае потенциальная энергия системы увеличилась:  $W_{pD} = W_{pC} - A_{CD} > W_{pC}$ . На участке  $BC$  и  $DA$  заряд движется перпендикулярно силовым линиям поля, потому работа на этих участках не совершается:  $A_{BC} = A_{DA} = 0$ . Потенциал поля заряда  $q_2$  и потенциальная энергия системы на этих участках не меняется. Работа электростатического поля не зависит от траектории движения заряда, а зависит только от его начального и конечного положения. Поэтому полная работа по перемещению заряда по замкнутой траектории равна 0:

$$A_{ABCD} = -(W_{pA} - W_{pA}) = -q_1(\varphi_A - \varphi_A) = 0$$

$$\text{Соответственно, } A_{CD} = -A_{AB} = -kq_1q_2 \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

#### № 4.

Дано:

$$\Delta\varphi = 1 \text{ В}$$

$$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$\Delta W_k - ? \quad \Delta W_p - ?$$

Решение:

$$A = q_e(\varphi_1 - \varphi_2) = -q_e\Delta\varphi,$$

По теореме о кинетической энергии

$$\Delta W_k = A = -q_e\Delta\varphi = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

По теореме потенциальной энергии:

$$\Delta W_p = -A = q_e\Delta\varphi = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$$\text{Ответ: } \Delta W_k = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж,}$$

$$\Delta W_p = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

### № 5.

Дано:

$$q_1 > 0,$$

$$q_2 < 0$$

$R, \varepsilon, \varepsilon_0, E - ?$

Решение:

Согласно принципу суперпозиций полей:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

$E_1 = k \frac{q_1}{\varepsilon r^2}$ , так как  $q_1 > 0$ , то  $\vec{E}_1$  на-

правлена от заряда  $q_1$

$E_2 = k \frac{q_2}{\varepsilon r^2}$  так как  $q_2 < 0$ , то  $\vec{E}_2$  на-

правлена от заряда  $q_2$ .

Угол между векторами  $\vec{E}_1$  и

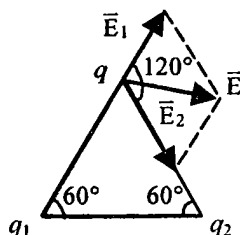
$\vec{E}_2$  равен  $120^\circ$ , поэтому

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cdot \cos(120^\circ) = E_1^2 + E_2^2 + E_1E_2.$$

$$E^2 = k^2 \frac{q_1^2}{\varepsilon^2 r^4} + k^2 \frac{q_2^2}{\varepsilon^2 r^4} + k^2 \frac{q_1 q_2}{\varepsilon^2 r^4} = \frac{k^2}{\varepsilon^2 r^4} (q_1^2 + q_2^2 + q_1 q_2),$$

$$E = \frac{k}{\varepsilon r^2} \sqrt{q_1^2 + q_2^2 + q_1 q_2}$$

Ответ:  $E = \frac{k}{\varepsilon r^2} \sqrt{q_1^2 + q_2^2 + q_1 q_2}.$



### № 6.

Вектор напряженности электростатического поля направлен в сторону убывания потенциала:  $\varphi_1 > \varphi_2$ .

Если снизу вверх потенциал возрастает, то вектор напряженности направлен сверху вниз.

### № 7.

Дано:

$$U = 120 \text{ В}$$

$$d = 3 \text{ см} = 0,03 \text{ м}$$

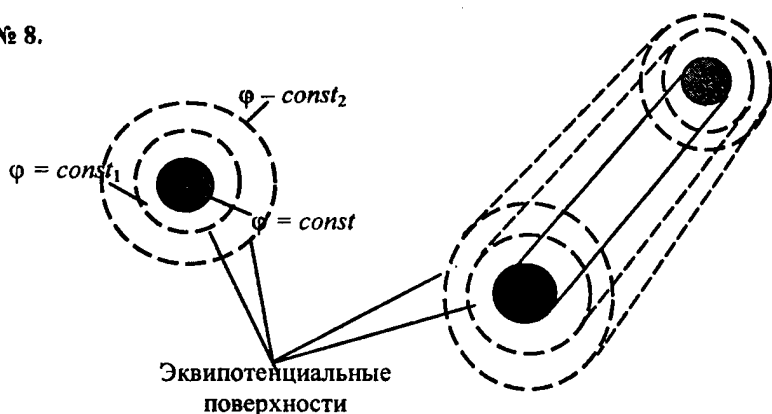
$E - ?$

Решение:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{120 \text{ В}}{0,03 \text{ м}} = 4 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

Ответ:  $E = 4 \cdot 10^3 \text{ В/м}.$

№ 8.



Так как все точки проводника имеют один и тот же потенциал, любая поверхность внутри цилиндра является эквипотенциальной. Рассмотрим некоторую точку А вне цилиндра. При сдвиге точки А параллельно оси цилиндра потенциал поля не изменится, так как не изменится расположение зарядов относительно точки А. То есть любая прямая, параллельная оси цилиндра эквипотенциальна. Любая окружность, лежащая в плоскости, перпендикулярной оси цилиндра с центром на его оси тоже эквипотенциальна. Значит любая цилиндрическая поверхность, ось которой является осью данного цилиндра, эквипотенциальна.

№ 9.

Дано:

$$v_1 = 1 \cdot 10^7 \text{ м/с},$$

$$v_2 = 3 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

$$\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

U - ?

Решение:

По теореме о кинетической энергии:

$$A = \Delta W_k = W_{k2} - W_{k1}, \quad W_{k1} = \frac{mv_1^2}{2},$$

$$W_{k2} = \frac{mv_2^2}{2}, \quad A = \Delta W_k = \frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2).$$

С другой стороны, работу электрического поля по перемещению электрона можно выразить через разность потенциалов поля в точках 2 и 1:  $A = -eU$ . Отсюда  $-eU = \frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2)$ ,

$$U = -\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \frac{e}{m}} = \frac{-(9 - 1) \cdot 10^{14} \text{ м}^2/\text{с}^2}{2 \cdot 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}} \approx -2,3 \cdot 10^3 \text{ В}.$$

Ответ:  $U \approx -2,3 \cdot 10^3 \text{ В}$ .

## Упражнение 18.

### № 1.

Дано:

$$C = 0,1 \text{ мкФ} = 10^{-7} \text{ Ф}$$

$$U = 175 \text{ В}$$

$$\Delta q = ?$$

Решение:

$$q_1 = U_1 C, \quad q_2 = U_2 C; \quad \Delta q = q_2 - q_1 = C \Delta U = 10^{-7} \cdot 175 \text{ В} = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ Кл.}$$

$$\text{Ответ: } \Delta q = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ Кл.}$$

### № 2.

Дано:

$$v_0 = 2 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

$$l = 0,05 \text{ м} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

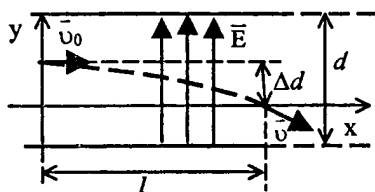
$$U = 200 \text{ В} = 2 \cdot 10^2 \text{ В}$$

$$d = 0,02 \text{ м} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

$$\Delta d = ?$$

Решение:



Направим ось  $x$  по направлению начальной скорости электрона, а ось  $y$  перпендикулярно пластинам конденсатора. Напряженность электрического поля  $\vec{E}$  направлена вдоль оси  $y$ . Запишем уравнение Ньютона для электрона в электрическом поле.

$$m\vec{a} = q_e \vec{E} = -e\vec{E}; \quad x: m_{ax} = -eE_x = 0, \quad y: m_{ay} = -eE_y = -eE.$$

Вдоль оси  $x$  электрон движется равномерно со скоростью  $v_{0x} = v_0$ , а

вдоль оси  $y$  равноускоренно с ускорением  $a_y = -\frac{eE}{m}$ .

$$x = v_0 t, \quad y = \Delta d - \frac{eE}{2m} t^2, \quad \text{здесь } x_0 = 0, \quad y_0 = \Delta d.$$

Пусть в момент времени  $t$  электрон вылетает из конденсатора, тогда

$$t = v_0 t, \quad t = \frac{l}{v_0}. \quad \text{Отсюда: } y(t) = 0 = \Delta d + \frac{a_y t^2}{2}, \quad \Delta d = -\frac{a_y l^2}{2v_0^2} =$$

$$= -\frac{eEl^2}{2mv_0^2}. \quad \text{Для однородного электростатического поля } E = \frac{U}{d}, \quad \text{и}$$

$$\Delta d = \frac{Uel^2}{2dmv_0^2} = \frac{2 \cdot 10^2 \text{ В} \cdot 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг} \cdot (5 \cdot 10^{-2} \text{ м})^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot (2 \cdot 10^7 \text{ м/с})^2} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$\text{Ответ: } \Delta d = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

**№ 3.**

Дано:

$$U_0 = 200 \text{ В} = 2 \cdot 10^2 \text{ В}$$

$$\varepsilon = 7$$

$$d = 0,2 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$d_1 = 0,7 \text{ мм} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$U_1 = ?$$

Решение:

После того, как конденсатор отключили от источника питания, его заряд перестал меняться, и он равен:  $q = CU$ . Отсюда.

$$U_1 = \frac{q}{C_1} = \frac{C}{C_1} U$$

Так как  $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$ , то  $\frac{C_1}{C} = \frac{ed}{d_1}$ . Окончательно,

$$U_1 = \frac{U d_1}{ed}; U_1 = \frac{7 \cdot 10^{-4} \text{ м}}{2 \cdot 10^{-4} \text{ м} \cdot 7} \cdot 200 \text{ В} = 100 \text{ В}.$$

Отвст:  $U_1 = 100 \text{ В}$ .

## Упражнение 19.

### № 1.

Примем направление движения положительно заряженных частиц за направление тока. Следовательно, направление движения отрицательно заряженных частиц будет противоположным направлению движения тока. Значит, ток направлен от экрана телевизионной трубки.

### № 2.

Дано:

$$m = 0,2 \text{ кг} = 2 \cdot 10^{-1} \text{ кг}$$

$$R = 0,2 \text{ Ом} = 2 \cdot 10^{-1} \text{ Ом}$$

$$\gamma = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$l = ? \quad S = ?$$

Решение:

Сопротивление проводника определяется формулой:  $R = \rho \frac{l}{S}$ . Объем проводника

$$\text{равен: } V = \frac{m}{\gamma} = Sl.$$

$$\text{Отсюда: } l = \frac{m}{\gamma S}, \quad R = \rho \frac{m}{\gamma S^2},$$

$$S = \sqrt{\frac{\rho m}{R \gamma}} = \sqrt{\frac{1,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 2 \cdot 10^{-1} \text{ кг}}{2 \cdot 10^{-1} \text{ Ом} \cdot 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3}} \approx 1,4 \text{ мм}^2$$

$$l = \frac{m}{\gamma S} = \frac{m}{\gamma} \sqrt{\frac{R \gamma}{\rho m}} = \sqrt{\frac{m R}{\rho \gamma}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-1} \text{ кг} \cdot 2 \cdot 10^{-1} \text{ Ом}}{1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3}} \approx 16 \text{ м.}$$

Ответ:  $S \approx 1,4 \text{ мм}^2$ ,  $l \approx 16 \text{ м}$ .

### № 3.

Дано:

$$U = 36 \text{ В} = 3,6 \cdot 10 \text{ В}$$

$$l = 300 \text{ м} = 3 \cdot 10^2 \text{ м}$$

$$\rho = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$n = 8,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$v_{cp} = ?$$

Решение:

Сила тока равна:  $I = enSv_{cp}$ .

Согласно закону Ома:

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

$$\text{где } R = \rho \frac{l}{S}. \text{ Отсюда } I = \frac{US}{\rho l}.$$

Отсюда:

$$v_{cp} = \frac{U}{\rho l n e} = \frac{3,6 \cdot 10}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,5 \cdot 10^{28} \cdot 1,8 \cdot 10^{-8} \cdot 3 \cdot 10^2} \approx 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

Ответ:  $v_{cp} \approx 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ .

#### № 4.

Дано:

$$\frac{Q}{Q_1 - ? \quad Q_2 - ?}$$

Решение:

Согласно закону Джоуля-Ленца количество теплоты, выделяемое одной плиткой за время  $t$ , равно:

$$Q = I^2 R t,$$

где  $I$  определяется в соответствии с законом Ома:

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

При последовательном подключении сопротивление цепи увеличивается в два раза:  $R_1 = R + R = 2R$ ;

$$Q_1 = \frac{U^2}{R_1} t, \quad Q_1 = \frac{U^2}{2R} t, \quad Q_1 = \frac{Q}{2}.$$

Две одинаковые плитки, соединенные последовательно и включенные в сеть с постоянным напряжением выделяют в 2 раза меньше энергии, чем при подключении одной плитки.

При параллельном соединении сопротивление цепи равно:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R}, \quad R_2 = \frac{R}{2}.$$

$$Q_2 = \frac{U^2}{R_2} t; \quad Q_2 = \frac{2U^2}{R} t; \quad Q_2 = 2Q.$$

При параллельном соединении двух одинаковых плиток выделяется в 2 раза больше энергии, чем при подключении одной плитки.

Ответ:  $Q_1 = Q/2$ ,  $Q_1 = 2Q$ .

#### № 5.

Дано:

$$\frac{\varepsilon, I = 0}{U - ?}$$

Решение:

Разрыв цепи означает подключение к ней бесконечно большого сопротивления. Замкнем мысленно цепь с ЭДС сопротивлением  $R \gg r$ , где  $r$  – сопротивление и

запишем закон Ома для полной замкнутой цепи:  $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$

Запишем теперь закон Ома для участка цепи с сопротивлением  $R$ :

$I = \frac{U}{R}$ ,  $U = \frac{\varepsilon R}{R + r}$ . При бесконечно большом  $R$  ( $\frac{r}{R}$  – бесконечно малая величина)

$$\frac{R}{R + r} = \frac{1}{1 + \frac{r}{R}} \rightarrow 1 \text{ и } U = \varepsilon.$$

Ответ:  $U = \varepsilon$ .

# № 6.

Дано:

$$\varepsilon = 12 \text{ В}$$

$$r = 0,01 \text{ Ом}$$

$$R = 0$$

$$I - ?$$

Решение:

Запишем закон Ома для полной цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{r} = \frac{12 \text{ В}}{0,01 \text{ Ом}} = 1200 \text{ А.}$$

Ответ:  $I = 1200 \text{ А.}$

# № 7.

Дано:

$$R_1 = 1,65 \text{ Ом}$$

$$U_1 = 3,3 \text{ В}$$

$$R_2 = 3,5 \text{ Ом}$$

$$U_2 = 3,5 \text{ В}$$

$$\varepsilon - ? \quad r - ?$$

Решение:

Решим задачу с помощью закона Ома

для полной цепи:  $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$  и закона Ома

для участка цепи:  $I = \frac{U}{R}.$

Выразим ЭДС через сопротивление реостата и напряжение на нем для двух случаев:

$$\varepsilon = \frac{U_1}{R_1}(R_1 + r), \quad \varepsilon = \frac{U_2}{R_2}(R_2 + r).$$

Разделив одно уравнение на другое, получим:

$$I = \frac{U_1 R_2 (R_1 + r)}{R_1 U_2 (R_2 + r)},$$

$$U_1 R_2 (R_1 + r) = R_1 U_2 (R_2 + r),$$

$$r = \frac{U_2 R_1 R_2 - U_1 R_2 R_1}{U_1 R_2 - U_2 R_1} = \frac{R_1 R_2 (U_2 - U_1)}{U_1 R_2 - U_2 R_1} = \frac{1,65 \cdot 3,5(3,5 - 3,3)}{3,3 \cdot 3,5 - 3,5 \cdot 1,65} = 0,2 \text{ Ом.}$$

Подставим  $r$  в одно из уравнений для ЭДС:

$$\varepsilon = \frac{U_1}{R_1} \left( R_1 + \frac{R_1 R_2 (U_2 - U_1)}{U_1 R_2 - U_2 R_1} \right),$$

$$\varepsilon = U_1 \left( 1 + \frac{R_2 (U_2 - U_1)}{U_1 R_2 - U_2 R_1} \right) = U_1 \left( 1 + \frac{R_2 (U_2 - U_1)}{U_1 R_2 - U_2 R_1} \right) =$$

$$= 3,3 \left( 1 + \frac{3,5(3,5 - 3,3)}{3,3 \cdot 3,5 - 3,5 \cdot 1,65} \right) = 3,7 \text{ В.}$$

Ответ:  $r = 0,2 \text{ Ом}, \quad \varepsilon = 3,7 \text{ В.}$

### № 8.

Дано:

$$\varepsilon_1 = 4,5 \text{ В}$$

$$\varepsilon_2 = 1,5 \text{ В}$$

$$r_1 = 1,5 \text{ Ом}$$

$$r_2 = 0,5 \text{ Ом}$$

$$R = 23 \text{ Ом}$$

$P = ?$

Решение:

Выберем направление обхода цепи по часовой стрелке. Тогда ЭДС цепи равно  $\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$ .

Запишем закон Ома для замкнутой цепи:

$$I(r_1 + r_2 + R) = \varepsilon_2 - \varepsilon_1.$$

Найдем силу тока  $I$ :

$$I = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{r_1 + r_2 + R}.$$

Согласно закону Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R \Delta t$$

Мощность – количество теплоты, выделяемое лампой в единицу

времени:  $P = \frac{Q}{\Delta t}, P = I^2 R = \left( \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{r_1 + r_2 + R} \right)^2 R =$

$$= \left( \frac{4,5 - 1,5}{1,5 + 0,5 + 23} \right)^2 \cdot 23 \approx 0,33 \text{ Вт}.$$

Ответ:  $P \approx 0,33 \text{ Вт}$ .

### № 9.

Дано:

$$\varepsilon = 6 \text{ В}$$

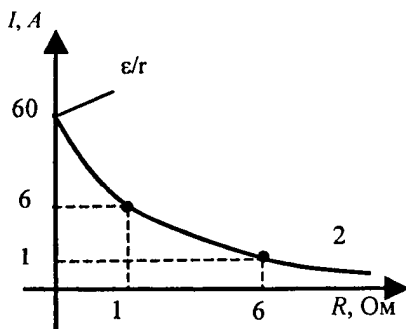
$$r = 0,1 \text{ Ом}$$

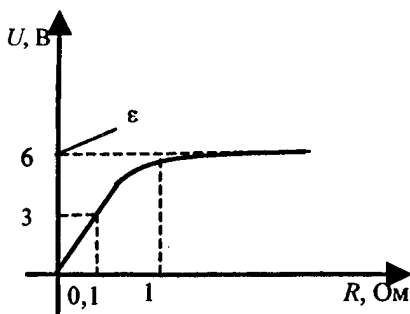
$I(R) = ?$   $U(R) = ?$

Решение:

$$I(R) = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{6}{0,1 + R},$$

$$U(R) = IR = \frac{6R}{0,1 + R} \text{ В}.$$





### № 10.

Дано:

$$\varepsilon = 4,1 \text{ В}$$

$$r = 4 \text{ Ом}$$

$$\varepsilon_3 - ? \quad r_3 - ?$$

Решение:

Замкнем два источника ЭДС некоторым сопротивлением  $R$  и запишем выражение для напряжения на

$$R: U = IR.$$

С другой стороны  $U = \varepsilon - I_1 r = \varepsilon - I_2 r$ , где  $I_1, I_2$  — токи, текущие через первый и второй элемент.

$$I = I_1 + I_2, \quad \varepsilon - I_1 r = \varepsilon - I_2 r \Rightarrow I_1 = I_2 = \frac{I}{2}.$$

Теперь закон Ома для замкнутой цепи с двумя ЭДС можно записать

в виде:  $I = \frac{\varepsilon}{R + r/2}$ . Из этой формулы видно, что две ЭДС можно

заменить эквивалентной ЭДС с  $\varepsilon_3 = 4,1 \text{ В}$  и  $r_3 = 2 \text{ Ом}$ .

## Упражнение 20.

### № 1.

После опускания куска проволоки в воду ее сопротивление уменьшается, значит, возрастает сила тока во всей проволоке, а, следовательно, часть проволоки над водой нагреется сильнее.

### № 2.

Сопротивление уменьшилось, а, значит, при постоянном напряжении на концах проводника, возросло количество теплоты, выделяемое за некоторое время.

### № 3.

Дано:

$$\Delta T = 60\text{K} = 6 \cdot 10\text{ K}$$

$$P_1 = 5\text{ кВт} = 5 \cdot 10^3\text{ Вт}$$

$$\alpha = 3,8 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$$

$$U = \text{const}$$

$$I = \text{const}$$

---


$$P_2 - ?$$

Решение:

$$U = \text{const.}$$

$$P = \frac{U^2}{R}.$$

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

$$P_2 = \frac{U^2}{R_2}; \quad P_2 = \frac{P_1 R_1}{R_2}, \quad R_2 = \frac{R_1}{1 - \alpha \Delta T},$$

$$P_2 = P_1 (1 - \alpha \Delta T),$$

$$P_2 = 5 \cdot 10^3 (1 - 6 \cdot 10 \cdot 3,8 \cdot 10^{-3})\text{ Вт},$$

$$P_2 \approx 3,9 \cdot 10^3\text{ Вт} \approx 3,9\text{ кВт}.$$

Мощность уменьшилась.

$$2) I = \text{const.}$$

$$P = I^2 R; \quad P_1 = I^2 R_1, \quad P_2 = I^2 R_2; \quad P_2 = \frac{P_1 R_2}{R_1}, \quad R_2 = \frac{R_1}{1 - \alpha \Delta T}.$$

$$P_2 = \frac{P_1}{1 - \alpha \Delta T}, \quad P_2 = \frac{5 \cdot 10^3}{1 - 6 \cdot 10 \cdot 3,8 \cdot 10^{-3}}\text{ Вт}, \quad P_2 \approx 6,4 \cdot 10^3\text{ Вт} \approx 6,4\text{ кВт}$$

Мощность увеличилась.

### № 4.

Дано:

$$m = 0,01\text{ кг} = 1 \cdot 10^{-2}\text{ кг}$$

$$k = 3,4 \cdot 10^{-7}\text{ кг/Кл}$$

---


$$q - ?$$

Решение:

$$m = k \Delta t, \quad q = I \Delta t.$$

$$m = kq, \quad q = \frac{m}{k};$$

$$q = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{3,4 \cdot 10^{-7}}\text{ Кл}, \quad q = 2,94 \cdot 10^4\text{ Кл}.$$

Ответ:  $q = 2,94 \cdot 10^4\text{ Кл}.$

**№ 5.**

Дано:

$I = 1,6 \text{ А}$

$\Delta t = 10 \text{ мин} = 6 \cdot 10^2 \text{ с}$

$m = 0,316 \text{ г} = 3,16 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$

 $k = ?$ 

Решение:

Согласно закону электролиза:

$$m = k \Delta t, \quad k = \frac{m}{I \Delta t},$$

$$k = \frac{3,16 \cdot 10^{-4}}{1,6 \cdot 6 \cdot 10^2} \text{ кг/Кл}, \quad k = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}.$$

Ответ:  $k = 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$ .**№ 6.**

Если необходимо покрыть металлом внутреннюю поверхность предмета, нужно этот предмет применить в роли катода, и внутри ее поставить электролит с анодом.

**№ 7.**

Дано:

$\Delta t = 2 \text{ ч} = 7,2 \cdot 10^3 \text{ с}$

$I = 25 \text{ А} = 2,5 \cdot 10 \text{ А}$

$k = 3 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$

$\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

$S = 0,2 \text{ м} = 2 \cdot 10^{-1} \text{ м}^2$

 $d = ?$ 

Решение:

Запишем закон электролиза:

$m = k \Delta t,$

$m = c V = c \cdot S \cdot d, \quad c \cdot S \cdot d = k \Delta t,$

$$d = \frac{k \Delta t}{c \cdot S};$$

$$d = \frac{3 \cdot 10^{-7} \cdot 2,5 \cdot 10 \cdot 7,2 \cdot 10^3}{8,9 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-1}} \text{ м}, \quad d \approx 3 \cdot 10^{-5} \text{ м} \approx 30 \text{ мкм}.$$

$$[d] = \left[ \frac{\text{кг} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^3}{\text{Кл} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^2} \right] = \left[ \frac{\text{Кл} \cdot \text{м}}{\text{Кл}} \right] = [\text{м}] \quad [\text{А} \cdot \text{с}] = [\text{Кл}]$$

Ответ:  $d \approx 30 \text{ мкм}$ .**№ 8.**

Электроны в металле и в вакууме пройдут различные расстояния. Это связано с тем, что в вакууме электрон движется с ускорением под действием только электрического поля. В отличие от металла где на него помимо электрического поля действуют силы сопротивления кристаллической решетки. Следовательно, в металле электрон пройдет меньшее расстояние.

№ 9.

Дано:

$$U_1 = 500 \text{ В} = 5 \cdot 10^2 \text{ В}$$

$$U_2 = 5000 \text{ В} = 5 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = 9 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$U_0 = 0$$

$$v_{1,2} - ?$$

Решение:

Работа, совершенная электрическим полем, равна  $A = eU$ .

По теореме о кинетической энергии:

$$A = \frac{m_e v^2}{2}$$

$$eU = \frac{m_e v^2}{2}$$

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}};$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2eU_1}{m_e}}; \quad v_2 = \sqrt{\frac{2eU_2}{m_e}};$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^2}{9 \cdot 10^{-31}}} \text{ м/с}, \quad v_1 \approx 1,33 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^3}{9 \cdot 10^{-31}}} \text{ м/с}, \quad v_2 \approx 4,19 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

Ответ:  $v_1 \approx 1,33 \cdot 10^7 \text{ м/с}$ ,  $v_2 \approx 4,19 \cdot 10^7 \text{ м/с}$ .

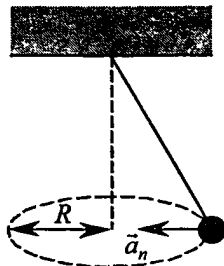
## Лабораторная работа № 1.

### Изучение движения тела

#### по окружности под действием сил упругости и тяжести

**Цель работы:** определение значения центростремительного ускорения шарика при его равномерном движении по окружности.

**Оборудование:** штатив с муфтой и лапкой, измерительная лента, циркуль, динамометр лабораторный, весы с разновесами, шарик на нити, кусочек пробки с отверстием, лист бумаги, линейка.



1. Приведем груз во вращение по нарисованной окружности радиуса  $R = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м}$ . Измерим время  $t$ , за которое тело совершит  $n = 40$  оборотов.

2. Примерные численные данные приведены в таблице.

	1-й опыт	2-й опыт	3-й опыт	4-й опыт	5-й опыт	Средние
$R, \text{ м}$	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
$t, \text{ с}$	55	55,1	55,05	54,9	55	55,01
$N$	40	40	40	40	40	40

$$3. T = \frac{t}{N} = \frac{55,01 \text{ с}}{40} = 1,38 \text{ с}.$$

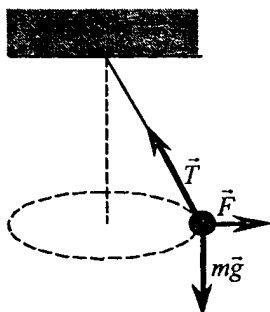
$$a_n = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 0,15 \text{ м}}{(1,38 \text{ с})^2} = 3,1 \text{ м/с}^2.$$

4. Измерим  $h = 55 \text{ см} = 0,55 \text{ м}$ .

$$a_n = \frac{gR}{h} = \frac{9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,15 \text{ м}}{0,55 \text{ м}} = 2,7 \text{ м/с}^2.$$

5. Остановим груз и отклоним его на такой угол, на который он был отклонен и при вращении. Прикрепим к грузу динамометр. Пусть масса груза  $m = 300 \text{ г} = 0,3 \text{ кг}$ , а динамометр показывает значение

$$\text{силы } F = 0,9 \text{ Н. Отсюда находим } a = \frac{F}{m} = \frac{0,9 \text{ Н}}{0,3 \text{ кг}} = 3 \text{ м/с}^2.$$



$R$	$N$	$\Delta t$	$h$	$m$	$T$	$a_n = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$	$a_n = \frac{gR}{h}$	$a_n = \frac{F}{m}$
15 см	40	55,01 с	0,55 см	0,3 кг	1,38 с	3,1 м/с <sup>2</sup>	2,7 м/с <sup>2</sup>	3,0 м/с <sup>2</sup>

**Вывод:** Мы получили, что значения центростремительного ускорения, измеренные из кинематических и динамических соображений, приближенно равны. Это подтверждает, во-первых, правильность наших измерений, а во-вторых, второй закон Ньютона.

**Лабораторная работа № 2.**  
**Изучение закона сохранения**  
**механической энергии**

*Цель работы:* научиться измерять потенциальную энергию поднятого над землей тела и упруго деформированной пружины, сравнить два значения потенциальной энергии пружины.

*Оборудование:* штатив с муфтой и лапкой, измерительная лента, динамометр лабораторный с фиксатором, шарик на нити длиной около 25 см.

1. Определяем вес шарика  $F_1 = 1 \text{ Н}$ .

2. Расстояние  $l = 30 \text{ см}$ .

3. Расстояние  $\Delta l = 5 \text{ см}$ .

4. Сила  $F = 16 \text{ Н}$ .  $\frac{F}{2} = 8 \text{ Н}$ .

5. Высота падения груза

$h = l + \Delta l = 30 \text{ см} + 5 \text{ см} = 35 \text{ см} = 0,35 \text{ м}$ .

6.  $E'_p = F_1(l + \Delta l) = 1 \text{ Н} \cdot 0,35 \text{ м} = 0,35 \text{ Дж}$ .

7.  $E''_p = \frac{F\Delta l}{2} = 8 \text{ Н} \cdot 0,05 \text{ м} = 0,4 \text{ Дж}$ .

$F_1$	$L$	$\Delta l$	$F$	$h$	$E'_p$	$E''_p$
1 Н	30 см	5 см	16 Н	35 см	0,35 Дж	0,4 Дж

**Вывод:** Мы получили, что значения потенциальной энергии, приблизительно равны. Это подтверждает, во-первых, правильность наших измерений, а во-вторых, закон сохранения механической энергии.

### Лабораторная работа № 3.

#### Опытная проверка закона Гей-Люссака

*Цель работы:* экспериментальным путем проверить верность закона Гей-Люссака.

*Оборудование:* стеклянная трубка, запаянная с одного конца, цилиндрический сосуд, стакан, пластилин.

Для газа данной массы отношение объема к температуре постоянно, если давление газа не меняется.

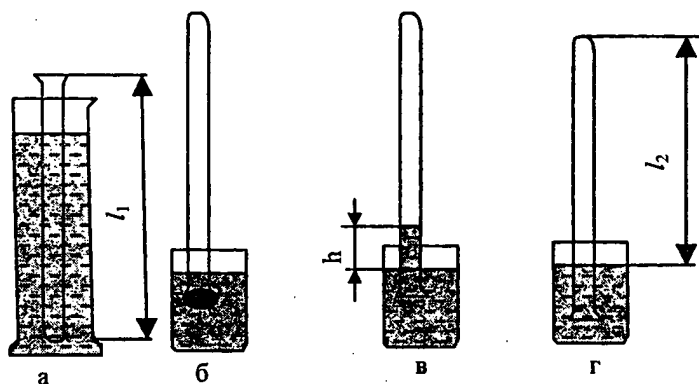
$\frac{V}{T} = const$  при  $p = const$ . Следовательно, объем газа линейно зависит от температуры при постоянном давлении:  $V = const \cdot T$ .

Чтобы проверить закон Гей-Люссака, необходимо измерить объем и температуру газа в двух состояниях при постоянном давлении и

проверить верность равенства:  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ . Это можно осуществить,

используя воздух при атмосферном давлении. Первое состояние стеклянная трубка открытым концом вверх помещается на 3-5 мин в цилиндрический сосуд с горячей водой (рис. а). В этом случае объем воздуха  $V_1$  равен объему стеклянной трубки, а температура – температуре горячей воды  $T_1$ . Чтобы при переходе воздуха в следующее состояние его количество не изменилось, открытый конец стеклянной трубки, находящейся в горячей воде, замазывают пластилином. После следует вынуть трубку из сосуда с горячей водой и замазанный конец быстро опускают в стакан с водой комнатной температуры (рис. б). Затем прямо под водой снимают пластилин. По мере охлаждения воздуха в трубке вода в ней будет подниматься. После прескращения подъема воды в трубке (рис. в) объем воздуха будет  $V_2 < V_1$  давление  $p = p_{атм.} - \rho gh$ . Чтобы давление воздуха стало равным атмосферному надо погружать трубку в стакан до тех пор, пока уровень воды в трубке и стакане не выровняются (рис. г). Это второе состояние при  $T_2$  окружающего воздуха. Отношение

объемов  $\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$  необходимо заменить отношением высот воздушных столбов в трубке, если сечение постоянно по всей длине  $\left(\frac{V_1}{V_2} = \frac{Sl_1}{Sl_2} = \frac{l_1}{l_2}\right)$ . В работе следует сравнить  $\frac{l_1}{l_2}$  и  $\frac{T_1}{T_2}$ . Необходимые инструменты для измерения: линейка, термометр.



Пример выполнения:

Измерено					Вычислено												
$l_1$	$l_2$	$t_1$	$t_2$	$\Delta_{\text{и}} l$	$\Delta_{\text{о}} l$	$\Delta l$	$T_1$	$T_2$	$\Delta_{\text{и}} T$	$\Delta_{\text{о}} T$	$\Delta T$	$\frac{l_1}{l_2}$	$\varepsilon_1$ %	$\Delta l$	$\frac{T_1}{T_2}$	$\varepsilon_2$ %	$\Delta T$
мм	мм	°C	°C	мм	мм	мм	К	К	К	К	К						
600	550	60	30	1	0.5	1.5	333	303	274	273.5	547.5	≈1	0.002	0.002	≈1	3.5	3.85

Используя ученическую линейку мы делаем замер длины  $l_1$  и  $l_2$ . С помощью термометра мы замеряем температуру окружающего воздуха  $T_2$ . Для дальнейшего заполнения таблицы проведем следующие вычисления:

1)  $\Delta_o l$  – абсолютная погрешность отсчета  $\Delta_o l = 0,5$ .

2) Максимальная абсолютная погрешность находится по формуле:

$$\Delta l = \Delta_u l + \Delta_o l = 1 + 0,5 = 1,5.$$

$$3) T_1 = 273 + t_1 = 273 + 60 = 333 \text{ К}$$

$$T_2 = 273 + t_2 = 273 + 30 = 303 \text{ К.}$$

$$\Delta_u T = 274 \text{ К}$$

$$\Delta_o T = 273,5 \text{ К}$$

$$\Delta T = 547,7 \text{ К}$$

$$4) \frac{l_1}{l_2} \approx 1$$

$$\text{Относительная погрешность } \varepsilon_1 = \frac{\Delta l}{l_1} + \frac{\Delta l}{l_2} = 0,002\%$$

$$\Delta l = \frac{l_1}{l_2} \cdot \varepsilon_1 = 0,002$$

$$5) \frac{T_1}{T_2} \approx 1$$

$$e_2 = \frac{\Delta T}{T_1} + \frac{\Delta T}{T_2} \approx \frac{547,5}{333} + \frac{547,5}{303} \approx 3,5\%$$

$$\Delta_2 = \frac{T_1}{T_2} \cdot e_2 = \frac{333}{303} \cdot 3,5\% \approx 3,85\%$$

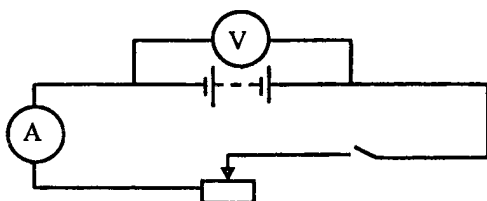
**Вывод:** Исходя из проведенных выше опытов становится ясно, что закон Гей-Люссака, выраженный равенством в данном случае

$\frac{l_1}{l_2} = \frac{T_1}{T_2}$  является верным. Что мы и доказали этой лабораторной работой.

# Лабораторная работа № 4. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока

**Цель работы:** научиться определять ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

Схема электрической цепи, которой пользуются в этой работе, показана на рисунке.



При разомкнутом ключе ЭДС источника тока равна напряжению на внешней цепи. В эксперименте источник тока замкнут на вольтметр, сопротивление которого должно быть больше внутреннего сопротивления источника тока  $r$ . Обычно сопротивление источника мало, поэтому для измерения напряжения можно использовать школьный вольтметр со шкалой 0–6 В и сопротивлением  $R_v = 900 \text{ Ом}$ . Так как сопротивление источника обычно мало, то действительно  $R_v \gg r$ .

При этом отличие  $E$  от  $U$  не превышает десятых долей процента, поэтому погрешность измерения ЭДС равна погрешности измерения напряжения.

Внутреннее сопротивление источника тока можно измерить косвенно, сняв показания амперметра и вольтметра при замкнутом ключе. Действительно, из закона Ома для замкнутой цепи получаем  $E = U + Ir$ , где  $U = IR$  – напряжение на внешней цепи. Поэтому

$r_{пр} = \frac{E_{пр} - U_{пр}}{I_{пр}}$ . Для измерения силы тока в цепи можно использо-

вать школьный амперметр со шкалой 0–2 А.

Пример выполнения:

№ опыта	Измерено			Вычислено											
	$U_{пр}$	$I_{пр}$	$E_{пр}$	$\Delta_u U$	$\Delta_0 U$	$\Delta U$	$\varepsilon_U$	$\varepsilon_E$	$r_{пр}$	$\Delta_r I$	$\Delta_0 I$	$\Delta I$	$\varepsilon_I$	$\varepsilon_r$	$\Delta r$
	В	А	В	В	В	В	%	%	Ом	А	А	А	%	%	Ом
Измерение $E$	0,05	2	1	0,1	0,05	0,15	0,03	0,5	0,475	0,1	0,05	0,15	0,075	2,335	1,1
Измерение $r$	0,05	2	1	0,1	0,05	0,15	0,03	0,5	0,475	0,1	0,05	0,15	0,075	2,335	1,1

Вставим в таблицу значения, вычисленные по формулам.

1)  $\Delta_{\text{и}}U$  – абсолютная инструментальная погрешность,

$$\Delta_{\text{и}}U = 0,1 \text{ В}$$

$\Delta_0U$  – абсолютная погрешность отсчета,

$$\Delta_0U = 0,05 \text{ В}$$

$\Delta U$  – максимальная абсолютная погрешность

$$\Delta U = \Delta_{\text{и}}U + \Delta_0U = 0,1 \text{ В} + 0,05 \text{ В} = 0,15 \text{ В}$$

2)  $\Delta_{\text{и}}I = 0,1 \text{ А}$

$$\Delta_0I = 0,05 \text{ А}$$

$$\Delta I = \Delta_{\text{и}}I + \Delta_0I = 0,1 \text{ В} + 0,05 \text{ В} = 0,15 \text{ В}$$

$$3) r_{\text{np}} = \frac{E_{\text{np}} - U_{\text{np}}}{I_{\text{np}}} = \frac{1 \text{ В} - 0,05 \text{ В}}{2} = 0,475 \text{ Ом.}$$

$$4) \epsilon_U = \frac{\Delta U}{U_{\text{np}}} = \frac{0,15 \text{ Ом}}{0,05 \text{ Ом}} = 0,03 ,$$

$$\epsilon E = \Delta E / E = 2 \text{ В} / 1 \text{ В} = 0,5$$

$$5) \epsilon_I = \frac{\Delta I}{I_{\text{np}}} = \frac{0,15}{2} = 0,075.$$

$$\epsilon_r = \frac{\Delta E + \Delta U}{E_{\text{np}} - U_{\text{np}}} + \frac{\Delta I}{I_{\text{np}}} = \frac{2 + 0,15}{1 - 0,05} + \frac{0,15}{2} = 2,335$$

$$6) \Delta r = r_{\text{np}} \cdot \epsilon_r = 0,475 \cdot 2,335 \approx 1,1$$

**Вывод:** Были получены результаты измерений, в ходе эксперимента работы с приборами для определения ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока.

**Лабораторная работа № 5.**  
**Изучение последовательного**  
**и параллельного соединения проводов**

*Цель работы:* проверить следующие законы:

1) для последовательного соединения проводников:

$$U = U_1 + U_2,$$

$$R = R_1 + R_2,$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

2) для параллельного соединения проводников:

$$I = I_1 + I_2,$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Соберем цепь для изучения последовательного соединения резисторов. Измерим напряжение на концах рассматриваемого участка и на каждом из проводников, тогда общее напряжение будет равно сумме напряжений на каждом проводнике:  $U = U_1 + U_2$ , а значение резистора будет равно сумме значения каждого резистора.

$R = R_1 + R_2$  и отношение  $\frac{U_1}{U_2}$  будет равно отношению  $\frac{R_1}{R_2}$

Соберем цепь для изучения параллельного соединения резисторов. Измерим силу тока в цепи. Общее значение силы тока равно сумме значения силы тока на разветвленных проводах. Величина, обратная резистору всего участка цепи, равна сумме величин, обратных резисторов проводников:  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

И значение отношения  $\frac{I_1}{I_2}$  равно обратному отношению резисторов

$$\frac{R_2}{R_1}$$

Пример вычисления:

Измерено						Вычислено		
$U_1$	$U_2$	$I_1$	$I_2$	$R_1$	$R_2$	$U$	$R$	$I$
В	В	А	А	Ом	Ом	В	Ом	А
1	2	0,5	1	0,1	0,2	3	0,3	1,5

**Вывод:** законы верны и доказаны в ходе эксперимента опытным путем для последовательного и параллельного соединения проводников.

*Справочное издание*

**Панов Николай Андреевич**

# **Домашняя работа по физике за 10 класс**

**Издательство «ЭКЗАМЕН»**

Гигиенический сертификат  
№ 77.99.60.953.Д.007297.05.10 от 07.05.2010 г.

Выпускающий редактор *Л.Д. Лаппо*  
Дизайн обложки *И.Р. Захаркина*  
Компьютерная верстка *Н.Э. Хрущева, А.П. Юскова*

105066, Москва, ул. Нижняя Красносельская, д. 35, стр. 1.  
[www.examen.biz](http://www.examen.biz)

E-mail: по общим вопросам: [info@examen.biz](mailto:info@examen.biz);  
по вопросам реализации: [sale@examen.biz](mailto:sale@examen.biz)  
тел./факс 641-00-30 (многоканальный)

Общероссийский классификатор продукции  
ОК 005-93, том 2; 953005 — книги, брошюры,  
литература учебная

Текст отпечатан с диапозитивов  
в ОАО «Владимирская книжная типография»  
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

Качество печати соответствует  
качеству предоставленных диапозитивов

**По вопросам реализации обращаться по тел.:  
641-00-30 (многоканальный).**

## **УВАЖАЕМЫЕ ПОКУПАТЕЛИ!**

*Издательство «ЭКЗАМЕН»  
предлагает вашему вниманию  
следующие учебные издания:*

1. **Начала физики.** Учебник. Учебное пособие для вузов / Павленко Ю.Г. (Серия «Учебники для вузов»)

2. **Поурочное планирование по физике. 7 класс.** К учебнику С.В. Громова, Н.А. Родиной «Физика: учеб. для 7 кл. общеобразоват. учреждений» / Проянненкова Л.А., Стефанова Г.П. Рекомендовано РАО. (Серия «Учебно-методический комплект»)

3. **Рабочая тетрадь по физике. 7 класс.** К учебнику А.В. Перышкина «Физика. 7 класс» / Минькова Р.Д. Рекомендовано РАО. (Серия «Учебно-методический комплект»)

4. **Рабочая тетрадь по физике. 8 класс.** К учебнику А.В. Перышкина «Физика. 8 класс» / Касьянов В.А., Дмитриева В.Ф. Рекомендовано РАО. (Серия «Учебно-методический комплект»)

5. **Рабочая тетрадь по физике. 9 класс.** К учебнику А.В. Перышкина, Е.М. Гутник «Физика. 9 класс» / Минькова Р.Д. Рекомендовано РАО. (Серия «Учебно-методический комплект»)

6. **Сборник задач по физике. 7–9 классы.** К учебнику А.В. Перышкина и др. «Физика-7», «Физика-8», «Физика-9» / Перышкин А.В. Рекомендовано РАО. (Серия «Учебно-методический комплект»)

7. **Тематическое и поурочное планирование по физике. 7 класс.** Методическое пособие. К учебнику-хрестоматии А.В. Перышкина «Физика. 7 класс» / Минькова Р.Д., Панаиоти Е.Н. Рекомендовано РАО. (Серия «Учебно-методический комплект»)

8. **Тематическое и поурочное планирование по физике. 8 класс.** Методическое пособие. К учебнику А.В. Перышкина «Физика. 8 класс» / Минькова Р.Д., Панаиоти Е.Н. Рекомендовано РАО (Серия «Учебно-методический комплект»)

9. **Тематическое и поурочное планирование по физике. 9 класс.** Методическое пособие. К учебнику А.В. Перышкина, Е.М. Гутник «Физика. 9 класс» / Минькова Р.Д. Рекомендовано РАО. (Серия «Учебно-методический комплект»)

10. **Тесты по физике. 10 класс.** К учебнику В.А. Касьянова «Физика. 10 класс» / Меркулова С.С., Прокофьева С.П. Рекомендовано РАО. (Серия «Учебно-методический комплект»)

## **УВАЖАЕМЫЕ ПОКУПАТЕЛИ!**

Книги издательства «ЭКЗАМЕН» можно приобрести  
оптом и в розницу в следующих книготорговых организациях

- Москва**  
ИП Степанов — Тел. 8-926-132-22-35  
ТД Библио-Глобус — Тел. (495) 781-19-00  
ДК Медведково — Тел. (495) 476-16-90  
Дом книги на Ладужской — Тел. (499) 267-03-02  
Молодая гвардия — Тел. (499) 238-00-32  
Шаг к пятёрке — Тел. (495) 728-33-09; 346-00-10  
*Сеть магазинов Мир школьника*
- Санкт-Петербург**  
Коллибри — Тел. (812) 703-59-94  
Санкт-Петербургский дом книги — Тел. (812) 448-23-57  
Буквоед — Тел. (812) 346-53-27  
Век Развития — Тел. (812) 924-04-58
- Архангельск**  
АВФ-книга — Тел. (8182) 65-41-34
- Барнаул**  
Летопись — Тел. (3852) 33-29-91
- Благовещенск**  
ЧП Калугин — Тел. (4162) 35-25-43
- Брянск**  
Буква — Тел. (4832) 67-68-92
- Волгоград**  
Кассандра — Тел. (8442) 97-55-55
- Владивосток**  
Приморский торговый дом книги — Тел. (4232) 63-73-18
- Воронеж**  
Амитель — Тел. (4732) 26-77-77  
Риокса — Тел. (4732) 21-08-66
- Екатеринбург**  
ПЦ Люмна — Тел. (343) 228-10-70  
Дом книги — Тел. (343) 253-50-10  
Алис — Тел. (343) 255-10-06
- Ессентуки**  
ЧП Зинченко — Тел. (87961) 5-11-28
- Иркутск**  
Продалигб — Тел. (3952) 24-17-77  
Магазин Светлана — Тел. (3952) 24-20-95
- Казань**  
Аист-Пресс — Тел. (8435) 25-55-40  
Таис — Тел. (8432) 72-34-55
- Калининград**  
Книги & Книжечки — Тел. (4012) 65-65-68
- Киров**  
Книги детям — Тел. (8332) 51-30-90
- Краснодар**  
Когорта — Тел. (8612) 62-54-97  
БукПресс — Тел. (8612) 62-55-48  
ОИПЦ Перспективы образования — Тел. (8612) 54-25-67
- Красноярск**  
Граль — Тел. (3912) 26-91-45
- Кострома**  
Леонардо — Тел. (4942) 31-53-76
- Курск**  
Оптимист — Тел. (4712) 35-16-51
- Ленинск-Кузнецкий**  
Кругозор — Тел. (38456) 3-40-10
- Магадан**  
Энола — Тел. (4132) 65-27-85
- Мурманск**  
Тезей — Тел. (8152) 43-63-75
- Нижегород**  
Учебная книга — Тел. (8312) 40-32-13  
Пароль — Тел. (8312) 43-02-12
- Дом книги** — Тел. (8312) 77-52-67  
Школяр — Тел. (8312) 41-92-27
- Новосибирск**  
Топ-книга — Тел. (3832) 36-10-28  
Сибверк — Тел. (3832) 12-50-90  
Топ-Модус — Тел. (3832) 44-34-44
- Оренбург**  
Фолиант — Тел. (3532) 77-46-92
- Пенза**  
Апогей — Тел. (8112) 68-14-21
- Пермь**  
Тигр — Тел. (3422) 45-24-37
- Петропавловск-Камчатский**  
Новая книга — Тел. (4152) 11-12-60
- Прокопьевск**  
Книжный дом — Тел. (38466) 2-02-05
- Исков**  
Гелнос — Тел. (8112) 44-09-89
- Пятигорск**  
ЧП Лобанова — Тел. (8793) 37-50-88  
Твоя книга — Тел. (8793) 39-02-53
- Ростов-на-Дону**  
Фазтон-пресс — Тел. (8632) 40-74-88  
Магистр — Тел. (8632) 99-98-96
- Рязань**  
ТД Просвещение — Тел. (4912) 44-67-75  
ТД Барс — Тел. (4912) 93-29-54
- Самара**  
Чакана — Тел. (846) 231-22-33,  
Метиза — Тел. (846) 269-17-17
- Саратов**  
Гемера — Тел. (8452) 64-37-37  
Полиграфист — Тел. (8452) 29-67-20  
Стрелец и К — Тел. (8452) 52-25-24
- Смоленск**  
Кругозор — Тел. (4812) 65-86-65  
Родник — Тел. (4812) 55-71-05  
Учебная книга — Тел. (4812) 38-93-52
- Тверь**  
Книжная лавка — Тел. (4822) 33-93-03
- Тула**  
Система Плюс — Тел. (4872) 70-00-66
- Тюмень**  
Знание — Тел. (3452) 25-23-72
- Улан-Удэ**  
Полином — Тел. (3012) 44-44-74
- Уфа**  
Элвис — Тел. (3472) 82-89-65,
- Хабаровск**  
Мирс — Тел. (4212) 26-87-30
- Челябинск**  
Интерсервис ЛПД — Тел. (3512) 47-74-13
- Череповец**  
Питер Пэн — Тел. (8202) 28-20-08
- Чита**  
ЧП Гулин — Тел. (3022) 35-31-20
- Южно-Сахалинск**  
Весть — Тел. (4242) 43-62-67
- Якутск**  
Книжный маркет — Тел. (4112) 49-12-69  
Якутский книжный дом — Тел. (4112) 34-10-12
- Ярославль**  
Дом книги — Тел. (4852) 72-52-87

По вопросам прямых оптовых закупок обращайтесь  
по тел. (495) 641-00-30 (многоканальный), [sale@examen.biz](mailto:sale@examen.biz)  
[www.examen.biz](http://www.examen.biz)